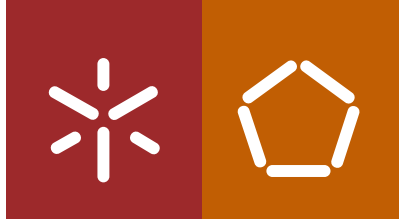


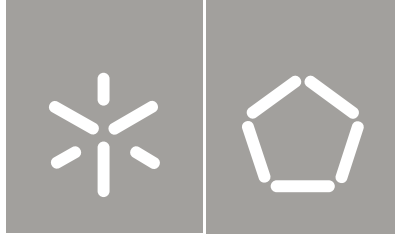


Paulo César Moreira Carneiro

Desenvolvimento de protótipos virtuais para  
utilização em simulação Software-In-the-Loop

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Paulo César Moreira Carneiro

Desenvolvimento de protótipos virtuais para  
utilização em simulação Software-In-the-Loop

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor José Mendes Machado

e coorientação da  
Professora Doutora Filomena Soares

Outubro de 2012

“Uma vida sem desafios não vale a pena ser vivida.”

**Sócrates**



## RESUMO

A implementação de sistemas automatizados na indústria implica treino de pessoal especializado para trabalhar/desenvolver sistemas constituídos por autómatos programáveis (vulgarmente denominados PLCs, do inglês "Programmable Logic Controllers"), sensores e atuadores de vários tipos e funções, desde o simples comando da válvula de um cilindro até complexos controladores de processos.

Desenvolveu-se, na Universidade do Minho, numa parceria entre quatro departamentos da Escola de Engenharia, um laboratório virtual e remoto destinado ao ensino desta área do conhecimento, designado plataforma WALC (Web Assisted Laboratory for Control).

Esta plataforma, proporciona o ensino da automação através da possibilidade de simulação do controlo de um sistema automatizado real.

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de simulações de sistemas automatizados, réplicas de sistemas reais, para que o controlo do sistema possa ser simulado virtualmente, utilizando simulações Software-In-the-Loop.

Este simulador, tem como função, complementar a plataforma WALC, dado que utiliza sistemas virtuais, sem a necessidade de projetar e construir bancadas físicas de simulação e teste com elevados custos associados.

Paralelamente ao desenvolvimento das simulações virtuais de sistemas automatizados, é apresentado o projeto e configuração adotados para a construção de um kit didático real para alargar a área de ensino da plataforma WALC.

**Palavras Chave:** Ensino Automação, Plataforma de Controlo, Kits Didáticos, Bancadas Didáticas, Simulação de Sistemas Automatizados, Software-In-the-Loop, Autómatos Programáveis, SFC, Ladder, Autómatos finitos Temporizados, PLC Virtual.



## ABSTRACT

The implementation of automated systems in industry involves training of specialized people to work/develop systems constituted by programmable automats (PLCs), sensors and actuators of several types and functions, since a simple command of a valve of a cylinder to complex controllers of processes.

It was developed, at Minho University, in partnership between four departments of Engineering School, a virtual and remote laboratory devoted for the teaching of this knowledge area, called WALC.

This tool provides a teaching of automation through the possibility of simulating the control of a real automated system.

The objective of this work consists on the development of simulations of automated systems so as that the control system can be virtually simulated using Software-In-the-Loop simulations.

These simulators have as function the complementation of WALC platform using virtual systems without the necessity of designing and constructing physical benches of elevated cost.

In the same side of development of virtual simulations of automated systems, has been developed a real educational kit to extend the teaching area of WALC platform.

Keywords: Education Automation, Simulation automated systems, Software-In-the-Loop Simulation, PLC, Ladder, Finite Automate, PLC Virtual, Real-Time Simulation.





## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo do meu trabalho, foram alguns os que contribuíram com a sua ajuda e motivação, sem os quais o presente trabalho não teria sido possível.

A realização desta Dissertação de Mestrado contou em primeiro lugar com a preciosa ajuda e orientação do Professor Doutor José Machado e Coorientação da Professora Doutora Filomena Soares, que com a sua dedicação, disponibilidade, experiência e com as suas numerosas sugestões e críticas me ajudaram a realizar esta dissertação, marco importante na minha vida académica e científica.

Quero também agradecer aos meus familiares e amigos pelo apoio prestado



# ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	2
1.1.	ENQUADRAMENTO .....	2
1.2.	OBJETIVOS .....	3
1.3.	ESTRUTURA DA TESE.....	4
2.	PLATAFORMA WALC.....	8
2.1.	DESCRIÇÃO DA PLATAFORMA .....	8
2.1.1.	<i>Estrutura dos sistemas automatizados</i> .....	8
2.1.2.	<i>Constituintes do sistema</i> .....	9
2.2.	OBJETIVO DA PLATAFORMA .....	13
2.3.	ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 2 .....	13
3.	SIMULAÇÃO.....	16
3.1.	SIMULAÇÃO SOFTWARE-IN-THE-LOOP .....	17
3.2.	SIMULAÇÃO HARDWARE-IN-THE-LOOP.....	17
3.3.	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SIL E HIL .....	18
3.4.	SIMULADORES .....	18
3.4.1.	<i>FluidSim</i> .....	19
3.4.2.	<i>Sim</i> .....	20
3.4.3.	<i>COSIMIR</i> .....	22
3.5.	ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 3.....	22
4.	KITS DIDÁTICOS .....	26
4.1.	ANÁLISE DOS KITS EXISTENTES .....	26
4.1.1.	<i>Painel de simulação pneumática/eletropneumática (Festo)</i> .....	26
4.1.2.	<i>Painel de simulação hidráulica/eletro-hidráulicas (Festo)</i> .....	27
4.1.3.	<i>Sistemas de produção</i> .....	28
4.2.	DESENVOLVIMENTO DE KITS DIDÁTICOS .....	31
4.2.1.	<i>Painel pneumático/eletropneumático</i> .....	32
4.3.	ASPETOS SALIENTADOS DO CAPÍTULO 4 .....	48
5.	ABORDAGEM UTILIZADA .....	52

5.1. MODELAÇÃO DO CONTROLADOR .....	52
5.1.1. SFC (IEC 60848) .....	56
<i>Modelação Algébrica</i> .....	60
5.2. MODELAÇÃO DO PROCESSO .....	63
5.2.1. Autómatos finitos temporizados .....	64
5.2.2. Modelação dos módulos da parte operativa.....	66
5.2.3. Conversão da linguagem formal para a linguagem ladder.....	76
5.3. AMBIENTE DE SIMULAÇÃO .....	76
5.3.1. Cx-Programmer .....	76
5.3.2. Cx-Simulator .....	77
5.3.3. Cx-Designer .....	78
5.3.4. Cx-Supervisor .....	79
5.4. ASPETOS SALIENTADOS DO CATÍTULO 5 .....	80
6. CASO DE ESTUDO .....	84
6.1. BANCADA PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICA.....	84
6.1.1. Modelo do controlador .....	85
6.1.2. Modelação do processo .....	87
6.1.3. Ambiente de simulação .....	91
6.1.4. Adaptação das simulações ao ensino da automação.....	95
6.2. SISTEMA DE CARGA/DESCARGA .....	97
6.2.1. Modelo do controlador .....	98
6.2.2. Modelação da parte operativa.....	101
6.2.3. Ambiente de simulação .....	104
6.2.4. Adaptação das simulações ao ensino da automação.....	107
6.3. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 6 .....	108
7. CONCLUSÕES .....	112
REFERÊNCIAS .....	114
ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS COMPONENTES DO PAINEL PNEUMÁTICO/ ELECTROPNEUMÁTICO .....	118

ANEXO B – EQUAÇÕES DE COMANDO REFERENTES À MODELAÇÃO DA PARTE DE COMANDO DO CASO DE ESTUDO 1: BANCADA PNEUMÁTICA/ELETROPNEUMÁTICA.....	130
ANEXO C – RESUMO DO MANUAL DE UTILIZADOR REFERENTE À SIMULAÇÃO VIRTUAL DO SISTEMA DE CARGA/DESCARGA .....	138



# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- PARTES CONSTITUINTES DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO [1] .....	9
FIGURA 2- REPRESENTAÇÃO DA BANCADA REFERENTE AO PROJETO WALC [3] .....	10
FIGURA 3- REPRESENTAÇÃO DOS DIFERENTES PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO IMPLEMENTADOS NO PROJETO WALC [3] .....	12
FIGURA 4- REPRESENTAÇÃO DA CASA INTELIGENTE [3] .....	13
FIGURA 5- SISTEMA AUTOMATIZADO COMPOSTO POR UM CONTROLADOR E UMA PARTE OPERATIVA [1] .....	16
FIGURA 6- CAD E SIMULAÇÃO NO FLUIDSIM [22] .....	19
FIGURA 7- AJUDA NO FLUIDSIM [22] .....	20
FIGURA 8- MODELOS DO 20-SIM [23] .....	21
FIGURA 9- INTERFACE E SIMULAÇÃO DO COSIMIR [13] .....	22
FIGURA 10- REPRESENTAÇÃO DO PAINEL DE SIMULAÇÃO PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICO [26] .....	27
FIGURA 11- REPRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE EMPILHAMENTO DA FESTO [28] .....	28
FIGURA 12- REPRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRANSPORTE DA FESTO [29] .....	29
FIGURA 13- REPRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRANSPORTE DA FESTO [30] .....	31
FIGURA 14- REPRESENTAÇÃO DA BANCADA PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICA, UTILIZANDO O AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2013 .....	34
FIGURA 15- REPRESENTAÇÃO DO CIRCUITO PNEUMÁTICO DA BANCADA PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICA, ATRAVÉS DO FLUIDSIM-P .....	35
FIGURA 16- REPRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA DO CIRCUITO ELÉTRICO DA BANCADA PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICA, ATRAVÉS DO FLUIDSIM-P .....	35
FIGURA 17- REPRESENTAÇÃO DO COMPRESSOR DE 220 V AC, 50/60 HZ DA CIF [31] .....	38
FIGURA 18- REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS REPRESENTATIVAS DOS LIMITES CONTÍNUOS DO COMPRESSOR 230V150Hz À TEMPERATURA AMBIENTE [31] .....	39
FIGURA 19- VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO – FILTRO LFR-M5-D-7-O-5M-MICRO DA FESTO [32] .....	40
FIGURA 20- DISTRIBUIDOR MÚLTIPLO QSLV3-G1/8-4 DA FESTO [32] .....	40
FIGURA 21- REPRESENTAÇÃO DA BUCHA PARA TUBO FLEXÍVEL C-1/8-P-6 [32] .....	41
FIGURA 22- REPRESENTAÇÃO VÁLVULAS SOLENOIDE MHE2-MS1H-3/2G-QS-4-K [32] .....	41
FIGURA 23- PARAFUSOS DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M4x20 DA IMPORTINOX [33] .....	41

FIGURA 24- REPRESENTAÇÃO CILINDRO PNEUMÁTICOS DE SIMPLES EFEITO NORMALIZADOS ESN-8-50-P DA FESTO [32] .....	42
FIGURA 25- REPRESENTAÇÃO DO FIXADOR POR PÉS -HBN-8/10x2 #5123 DA FESTO [32] .....	42
FIGURA 26- PARAFUSOS DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M5x15 DA IMPORTINOX [33] .....	43
FIGURA 27 -REPRESENTAÇÃO DA CONEXÃO RÁPIDA DE RETENÇÃO QSK-M5-4 #153291 DA FESTO [32] .....	43
FIGURA 28 -REPRESENTAÇÃO DOS SENSORES FIM DE CURSO SS-01GL DA OMRON [6] .....	43
FIGURA 29 -REPRESENTAÇÃO DO PARAFUSO DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZNB M4x30 DA IMPORTINOX [33] .....	44
FIGURA 30 -TACTILE SWITCHES B3FS-4002P DA OMRON [6] .....	44
FIGURA 31- REPRESENTAÇÃO DO CONTROLADOR CPM1A-20CDR-A-V1 DA OMRON [6] .....	45
FIGURA 32 -REPRESENTAÇÃO DO PARAFUSO DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZNB M4x20 DA IMPORTINOX [33] .....	45
FIGURA 33 -REPRESENTAÇÃO DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO DE 24V S8JX-G05012CD DA OMRON [6] .....	46
FIGURA 34 -REPRESENTAÇÃO DO PARAFUSO DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZNB M4x10 DA IMPORTINOX [33] .....	46
FIGURA 35 -ETAPAS E LIGAÇÕES [7] .....	57
FIGURA 36 -EVOLUÇÃO GRAFCET [7] .....	57
FIGURA 37 -GRAFCET EXEMPLO [7] .....	58
FIGURA 38 -REPRESENTAÇÃO REGRA 2 [38] .....	58
FIGURA 39 -REPRESENTAÇÃO REGRA 3 [38] .....	59
FIGURA 40 -DOIS EXEMPLO REPRESENTAÇÃO REGRA 4 [7] .....	59
FIGURA 41 -EXEMPLO SFC [7] .....	61
FIGURA 42- RECETIVIDADE, APÓS SEQUÊNCIAS SIMULTÂNEAS DE ACORDO COM (1) [7] .....	61
FIGURA 43 -ETAPA DE ACORDO COM (2) [7] .....	62
FIGURA 44- EXEMPLO SIMPLES DE UMA LÂMPADA [40] .....	64
FIGURA 45- REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DAS VÁLVULAS DIRECIONAIS DE 3/2 VIAS NORMALMENTE FECHADA, ATIVADA POR UM ROLETE MECÂNICO .....	67
FIGURA 46 - MODELO DE PROCESSO DE UMA VÁLVULA 3/2 VIAS NORMALMENTE FECHADA, ATIVADA POR UM ROLETE MECÂNICO .....	68
FIGURA 47- REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DE UM CILINDRO DE SIMPLES EFEITO .....	68



FIGURA 48 - MODELO DE PROCESSO DE UM CILINDRO DE SIMPLES EFEITO.....	69
FIGURA 49 - REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DE UM CILINDRO DE DUPLO EFEITO .....	69
FIGURA 50- MODELO DE PROCESSO DE UM CILINDRO DE DUPLO EFEITO .....	70
FIGURA 51- REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DA UMA ELECTROVÁLVULA DIRECIONAL DE 5/2 VIAS NORMALMENTE FECHADA .....	71
FIGURA 52- MODELO DE PROCESSO DA ELECTROVÁLVULA DIRECIONAL 5/2 VIAS, NORMALMENTE FECHADA .....	71
FIGURA 53- REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DE UM MOTOR ELÉTRICO.....	72
FIGURA 54- MODELO DE PROCESSO DE UM MOTOR ELÉTRICO.....	72
FIGURA 55- REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DE UM BOTÃO DE EMERGÊNCIA.....	73
FIGURA 56- MODELO DE PROCESSO DE UM BOTÃO DE EMERGÊNCIA.....	73
FIGURA 57- REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DE UM SENSOR DE PROXIMIDADE .....	73
FIGURA 58- MODELO DE PROCESSO DE UM SENSOR DE PROXIMIDADE .....	74
FIGURA 59- REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DE UM SENSOR CHAVE FIM DE CURSO [17] .....	74
FIGURA 60- MODELO DE PROCESSO DE UM SENSOR CHAVE FIM DE CURSO .....	74
FIGURA 61- MODELAÇÃO DE PROCESSO DO TUBO DE LIGAÇÃO ENTRE O COMPRESSOR E A VÁLVULA DIRECIONAL .....	75
FIGURA 62- CX-PROGRAMMER – JANELA PRINCIPAL [34].....	77
FIGURA 63- CX-DESIGNER – JANELA PRINCIPAL [36] .....	79
FIGURA 64- CX-SUPERVISOR – JANELA PRINCIPAL [43].....	80
FIGURA 65- REPRESENTAÇÃO DA MODELAÇÃO DA PARTE DE COMANDO DA BANCADA PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICA.....	86
FIGURA 66- MODELO DE PROCESSO DAS ELETROVÁLVULAS 3/2 VIAS NORMALMENTE FECHADA (UNIDADE 1,2 E 3) .....	88
FIGURA 67- MODELO DO PROCESSO DAS LIGAÇÕES VÁLVULAS DIRECIONAIS-CILINDROS .....	89
FIGURA 68- MODELO DE PROCESSO DOS CILINDROS DE SIMPLES EFEITO (UNIDADE 1, 2 E 3) ....	89
FIGURA 69- MODELO DE PROCESSO DOS SENSORES FIM DE CURSO (UNIDADE 1,2,3,4,5 E 6).....	90
FIGURA 70- MODELO DO PROCESSO DAS INTERAÇÕES CILINDRO-SENSOR FIM DE CURSO .....	91
FIGURA 71- REPRESENTAÇÃO PARCIAL DA MODELAÇÃO DA PARTE DE COMANDO DA BANCADA PNEUMÁTICA / ELECTROPNEUMÁTICA UTILIZANDO O CX-PROGRAMMER .....	92
FIGURA 72- REPRESENTAÇÃO MODELAÇÃO DA PARTE DE COMANDO DA BANCADA PNEUMÁTICA / ELECTROPNEUMÁTICA UTILIZANDO O CX-SIMULATOR.....	93

FIGURA 73- REPRESENTAÇÃO PARCIAL DA MODELAÇÃO DA PARTE OPERATIVA DA BANCADA PNEUMÁTICA / ELECTROPNEUMÁTICA UTILIZANDO O CX-PROGRAMMER .....	94
FIGURA 74- REPRESENTAÇÃO DA MODELAÇÃO DA BANCADA PNEUMÁTICA / ELETROPNEUMÁTICA UTILIZANDO O CX-DESIGNER .....	94
FIGURA 75- REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA SIMULADO .....	97
FIGURA 76- REPRESENTAÇÃO DO SFC REFERENTE AO CASO DE ESTUDO 2 .....	100
FIGURA 77- MODELAÇÃO DO PROCESSO REFERENTE AO PERCURSO DOS 2 CARROS.....	102
FIGURA 78- MODELAÇÃO DO PROCESSO DOS SENSORES DE PROXIMIDADE REFERENTE AO CARRO 1.....	103
FIGURA 79- MODELAÇÃO DO PROCESSO DOS SENSORES DE PROXIMIDADE REFERENTE AO CARRO 2.....	103
FIGURA 80- REPRESENTAÇÃO PARCIAL DA MODELAÇÃO DA PARTE DE COMANDO DA BANCADA PNEUMÁTICA / ELECTROPNEUMÁTICA UTILIZANDO O CX-PROGRAMMER .....	104
FIGURA 81- REPRESENTAÇÃO MODELAÇÃO DA PARTE DE COMANDO DA BANCADA PNEUMÁTICA / ELECTROPNEUMÁTICA UTILIZANDO O CX-SIMULATOR.....	105
FIGURA 82- REPRESENTAÇÃO PARCIAL DA MODELAÇÃO DA PARTE OPERATIVA DA BANCADA PNEUMÁTICA / ELECTROPNEUMÁTICA UTILIZANDO O CX-PROGRAMMER .....	106
FIGURA 83- REPRESENTAÇÃO DA MODELAÇÃO DA BANCADA PNEUMÁTICA / ELETROPNEUMÁTICA UTILIZANDO O CX-DESIGNER .....	106

# ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1- LISTA DE PONTOS REFERENTE À BANCADA PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICA ....	36
TABELA 2- ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DA BANCADA PNEUMÁTICA/ELETROPNEUMÁTICA .....	37
TABELA 3- CUSTO REFERENTE À BANCADA PNEUMÁTICA/ELETROPNEUMÁTICA .....	47
TABELA 4- CUSTO REFERENTE AO EQUIPAMENTO COMPLEMENTAR DA BANCADA PNEUMÁTICA/ELETROPNEUMÁTICA .....	48
TABELA 5- VANTAGENS E DESVANTAGENS DE CADA ESPECIFICAÇÃO .....	55
TABELA 6- LISTA DE PONTOS REFERENTE À BANCADA PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICA ....	85
TABELA 7- CONDIÇÕES DOS ENDEREÇOS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DA PARTE OPERATIVA .	96
TABELA 8- LISTA DE PONTOS REFERENTE AO SISTEMA DE CARGA/DESCARGA DE PEÇAS .....	98
TABELA 9- CONDIÇÕES DOS ENDEREÇOS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DA PARTE OPERATIVA	108



# **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ADEPA - Agence nationale pour le Developpement de la Production Automatisée

AFs – Autómatos Finitos

FBD – Function Block Diagram

Grafcet - Graphe Fonctionnel de Commande, Etapes Transition

HIL – Hardware-In-the-Loop

IEC - International Eletrotechnical Commission

IL – Instruction List

LD – Ladder Diagram

SIL – Software-In-the-Loop

SC – Statecharts

SFC – Sequential Functional Chart

ST – Structured Text

RdP – Redes de Petri

RTS – Real Time System



# CAPÍTULO 1

# INTRODUÇÃO

*A introdução do trabalho é feita neste capítulo, onde são apresentados os objetivos esperados, que consistem em desenvolver bancadas físicas e virtuais para o ensino da automação.*

*As simulações físicas aproveitarão o trabalho desenvolvido na plataforma WALC, complementando-a.*





# 1. INTRODUÇÃO

## 1.2. ENQUADRAMENTO

A automação é a tecnologia relacionada com a aplicação de sistemas mecânicos e elétricos, utilizando meios computacionais, no controlo de sistemas [1].

A utilização deste tipo de tecnologia tornou-se fundamental para o meio industrial, principalmente nas indústrias de produção. De facto, cada vez mais empresas recorrem a este tipo de equipamentos para incrementarem o desempenho dos seus processos de fabrico.

Para que esta tecnologia seja utilizada, é necessário recorrer a técnicos especializados. Logo, a necessidade de um maior número de técnicos aumentou, bem como a necessidade de mais e melhor formação, devido à complexidade crescente das aplicações. Assim, a aprendizagem rápida dos conceitos básicos deste tipo de conceitos aplicados a equipamentos industriais torna-se fundamental, necessitando de novas e melhores ferramentas, capazes de proporcionar esse ensino.

O ensino de sistemas de controlo e automação exige que o aluno seja colocado perante situações reais para que haja um confronto da teoria com a prática de “aprender, fazendo”, utilizando bancadas didáticas físicas ou virtuais.

As bancadas físicas reais são onerosas, dado o grande número de equipamentos envolvidos. Por outro lado, é do conhecimento dos programadores do comando de sistemas automatizados, o quão difícil é testar um determinado sistema. A extrapolação dos resultados de entradas incorretas devidas a avarias em sensores e/ou interruptores torna-se bastante complexa. Uma possível falha no controlo pode levar sistemas estáveis a comportarem-se de forma imprevisível, com todas as desvantagens daí inerentes para a segurança do processo a controlar [2].

Uma solução pode ser aprender/testar previamente essa programação com ferramentas virtuais, prevendo a ocorrência de um conjunto de situações anómalas. No entanto, a utilização de bancadas didáticas continua a ser relevante pelo facto de apresentarem características como ruídos (perturbações), limites de controlo e efeitos não lineares, além de

apresentarem a dinâmica real do processo e possibilitarem o uso de equipamentos utilizados na indústria.

Assim, para que o ensino da automação seja adaptado a diferentes aplicações/situações deve ser composto por bancadas físicas e virtuais.

No âmbito do projeto de investigação financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, envolvendo a parceria entre quatro departamentos da Escola de Engenharia da UMinho (Eletrónica Industrial, Produção e Sistemas, Engenharia Mecânica e Sistemas de Informação) e com a empresa industrial de automação Omron desenvolveu-se uma plataforma de simulação de sistemas automatizados (Plataforma WALC).

A plataforma WALC é definida como um laboratório remoto destinado ao ensino da automação. Com a função de simular sistemas automatizados físicos.

O acesso ao laboratório poderá ser feito local ou remotamente.

### **1.3. OBJETIVOS**

As razões apresentadas no ponto anterior foram determinantes na definição dos objetivos deste trabalho, os quais se expressam genericamente no desenvolvimento de simulações virtuais e reais de sistemas automatizados.

As simulações físicas aproveitarão o trabalho desenvolvido na plataforma WALC, complementando-a.

No caso das simulações virtuais, pretende-se que a ferramenta consiga simular diversos sistemas automatizados, utilizando o software CX-One e a linguagem de programação *ladder*. Para isso, será criada uma base de dados de elementos pertencentes a sistemas automatizados (sensores e atuadores). Através desta base de dados, qualquer utilizador pode projetar um determinado sistema automatizado no sentido de simular o funcionamento de um sistema real.

As simulações propostas nesta dissertação têm como objetivo principal, ser uma ferramenta complementar às aulas das disciplinas de pneumática, hidráulica, eletropneumática, eletro-hidráulica, controlo de sistemas automatizados, em cursos técnicos e

tecnológicos, podendo ser utilizado por alunos e professores, dentro e fora da sala de aula, de forma presencial. Assim, o utilizador, aluno ou professor, dispõe de uma ferramenta na qual são simulados sistemas automatizados por eles concebidos.

Como vantagem pedagógica, pode ser citada a possibilidade do utilizador elaborar teoricamente um determinado sistema, e através do simulador, testar o seu controlo. Dotado dessa possibilidade, o aluno é encorajado a criar, ter iniciativa e autonomia, que o torna um aprendiz ativo e participante.

## **1.4. ESTRUTURA DA TESE**

No capítulo 1 é feita a introdução do trabalho e a apresentação dos objetivos da dissertação.

No capítulo 2 apresenta-se a plataforma WALC.

No capítulo 3 são apresentadas as técnicas de simulações SIL (software in-The-Loop) e HIL (Hardware in-the-Loop).

No capítulo 4 é apresentada uma análise das ferramentas físicas existentes no mercado para o ensino da automação, e apresentada uma solução para uma bancada física a desenvolver/construir no contexto da bancada WALC.

No capítulo 5 é apresentada a abordagem sistemática proposta nesta dissertação, assim como todos os passos necessários para a sua utilização em Simulação “Software-In-the-Loop”. É demonstrado como é feita a modelação dos sistemas automatizados. São apresentados os formalismos e software utilizados para desenvolver os programas que estes utilizam.

No capítulo 6 é aplicada a abordagem sistemática num caso prático com alguma complexidade.

No capítulo 7 são finalmente apresentadas as conclusões e algumas propostas para trabalhos futuros.



# CAPÍTULO 2

## PLATAFORMA WALC

*A plataforma WALC utiliza várias ferramentas destinadas ao ensino da automação e controlo de sistemas automatizados mecatrónicos. É constituída por um conjunto de sistemas de controlo (parte de controlo) e kits didáticos (parte operativa), acedidos local ou remotamente.*

*Esta plataforma proporciona o ensino da automação através da possibilidade de simulação e teste do controlo de sistemas automatizados, mas também promove a compreensão de redes industriais de comunicação.*



## **2. PLATAFORMA WALC**

A plataforma WALC é definida como um laboratório remoto destinado ao ensino da automação e controlo de processos. O acesso ao laboratório pode ser feito local ou remotamente [3].

Esta ferramenta proporciona o ensino da automação através da possibilidade de simulação do controlo de sistemas automatizados, mas também promove a compreensão de redes industriais de comunicação [3] e dos diversos tipos de protocolos de comunicação (RS232, RS485, Profibus, Mechatrolink, DeviceNet e Ethernet), que fazem parte do projeto [4].

Este foi desenvolvido com financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia, numa parceria entre quatro departamentos da Escola de Engenharia da Universidade do Minho (Eletrónica Industrial, Produção e Sistemas, Engenharia Mecânica e Sistemas de Informação) [5] e com a empresa de automação industrial Omron [6].

### **2.1. DESCRIÇÃO DA PLATAFORMA**

O projeto WALC utiliza vários sistemas de controlo/comando destinados ao ensino da automação e controlo de sistemas automatizados mecatrónicos [7].

Basicamente, esta plataforma pode ser acoplada a qualquer parte física de um sistema automatizado, devido à diversidade de controladores que possui: vários níveis hierárquicos de comando de rede; vários tipos de PLCs com entradas e saídas analógicas e digitais; e possibilidade de comando de movimentos de motores; [8].

#### **2.1.1. Estrutura dos sistemas automatizados**

De uma maneira geral, um sistema automatizado é constituído por duas partes: parte operativa e parte de comando (Figura 1). A parte de comando elabora as ordens necessárias à execução do processo, em função da informação que recebe à entrada (sensores, interação homem-máquina e informação proveniente de partes de comando de outros sistemas), e da informação de retorno da parte operativa [1].

A parte operativa é o sistema a automatizar através da parte de comando. É constituída essencialmente por atuadores e sensores que estabelecem a ligação à parte de comando. A informação é enviada por esta, via amplificadores e atuadores (elétricos, hidráulicos e pneumáticos), sendo o estado da parte operativa fornecido pelos sensores (sensores de proximidade, termómetros, células de carga, entre outros [1]).

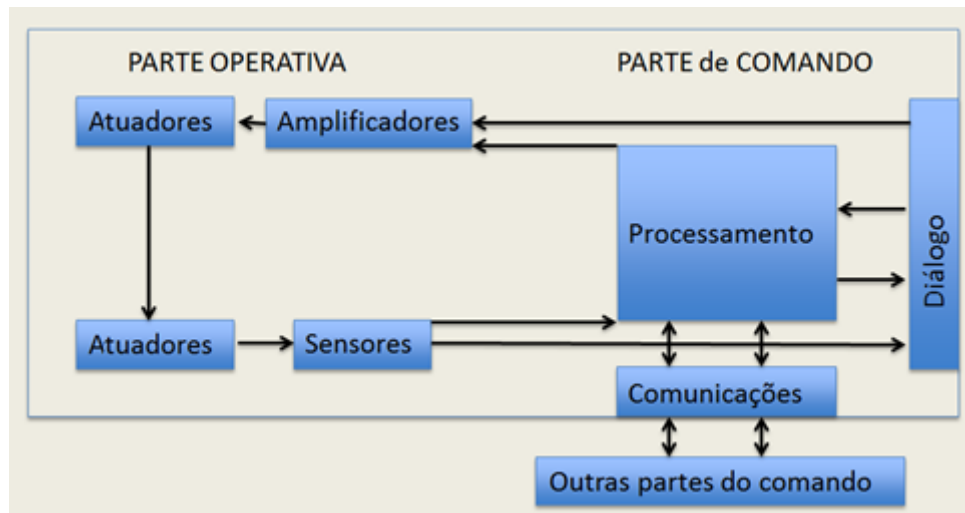


Figura 1- Partes constituintes de um sistema automático [1]

## 2.1.2. Constituintes do sistema

Seguidamente faz-se uma breve referência a alguns elementos (porque há elementos desta plataforma que ainda estão a ser desenvolvidos) constituintes da plataforma WALC.

### 2.1.2.1. Plataforma de comando

A plataforma de comando referente à plataforma WALC, definida como a parte de comando de um sistema automatizado, consiste num sistema, formado por diversos componentes [5, 6]:

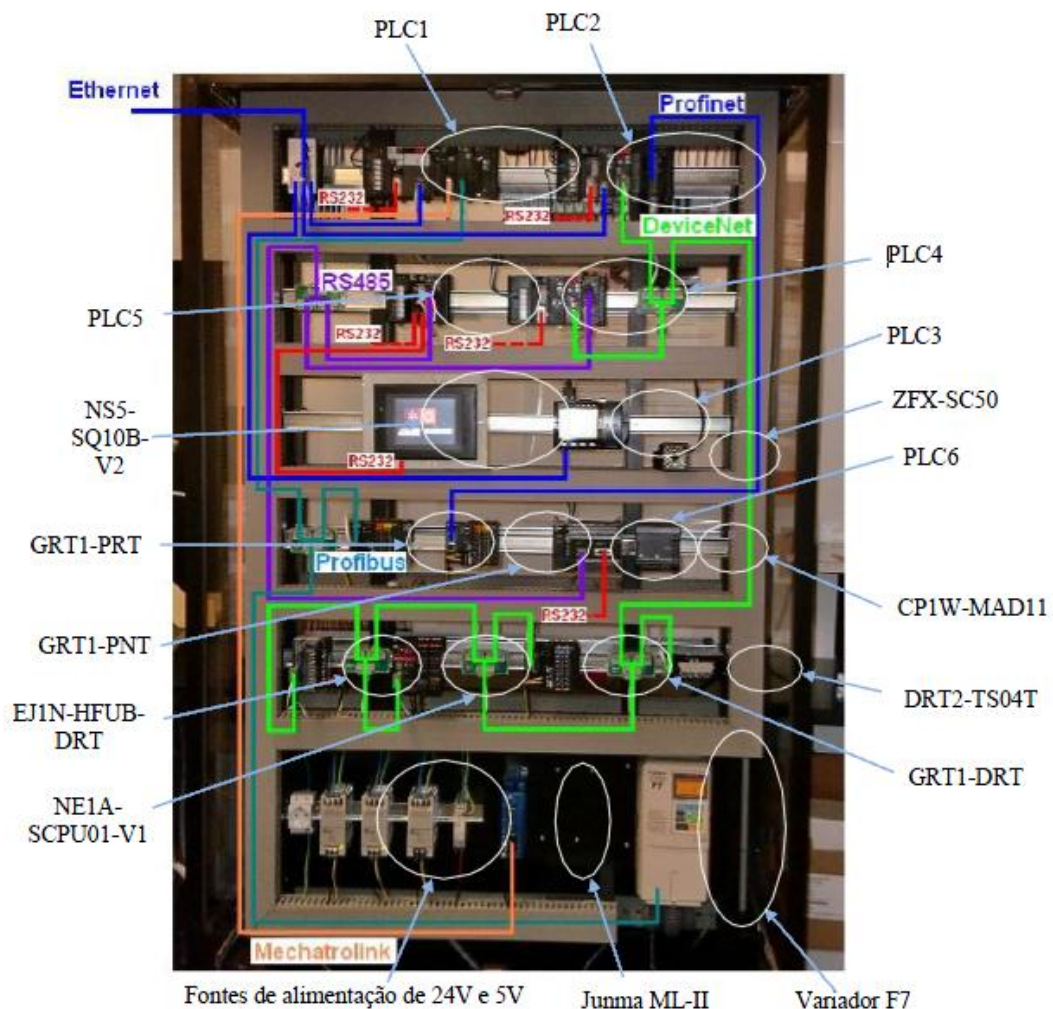
- Controladores lógicos programáveis (CJ1ETH ).
- Interface homem-máquina (NS5-SQ10B-V2).
- Sistema de E/S (GRT1-PRT e GRT1-PNT).
- Controlador modular de temperatura (EJ1N-HFUB-DRT .
- Controladores de segurança (NE1A-SCPU01-V1).
- Sensores de visão (ZFX-SC50).
- Módulo analógico I/O (CP1W-MAD11).



- Módulos de temperatura (DRT2-TS04T).
- Terminal I/O (GRT1-DRT).
- Variador de frequência (F7).
- Unidade de transmissão (Junma ML-II).
- Fontes de alimentação de 24V e 5V.

Esta bancada possui uma capacidade de controlo elevada, devido à diversidade dos controladores que possui.

É de referir, que todos os componentes pertencentes à bancada são provenientes da Omron, e estão representados na Figura 2.



**Figura 2- Representação da bancada referente ao projeto WALC [3]**

### **2.1.2.2. Redes comunicação**

O conjunto de controladores lógicos programáveis (PLC) [7], pode ser acedido através de várias redes de comunicação: RS232, RS485, Mechatrolink, Profibus, DeviceNet e via Ethernet [9,10]. A comunicação via Ethernet é considerada a rede de comunicação mais importante, pois é através desta que a programação dos PLCs pode ser executada [11,12].

Na Figura. 3, são ilustradas os diferentes protocolos de comunicação implementados no projeto da plataforma, sinalizados por diferentes cores.

A linha 4 representa a comunicação DeviceNet, cujas funções são: a troca de dados entre dispositivos de controlo (PLCs), pré-visionamento dos dispositivos de segurança e controlo de entradas/saídas. A linha 5 representa a comunicação RS485, contendo dois PLCs com diferentes sensores. A linha 2 representa a comunicação Mechatrolink, que tem a função de controlar o servomotor. O Profibus, identificado pela linha 3, liga o inversor e um dispositivo de controlo de entradas/saídas. E finalmente, a rede Ethernet, linha 1, que liga os dois PLCs, um dispositivo de controlo de entradas/saídas e um sistema de visionamento. O acesso remoto ao sistema é efetuado pela rede Ethernet.

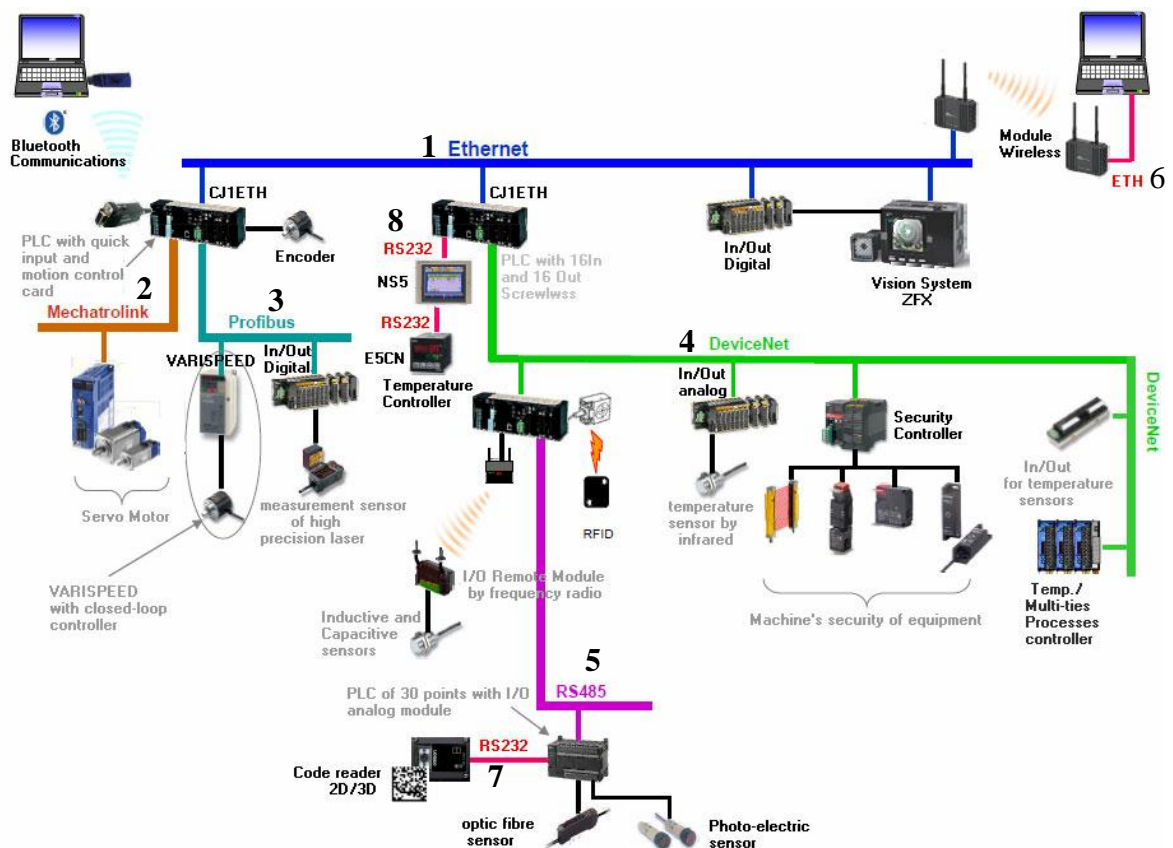


Figura 3- Representação dos diferentes protocolos de comunicação implementados no projeto WALC [3]

### 2.1.2.3. Kits didáticos

A parte operativa, controlada pela parte de comando, é representada pelos kits didáticos. Estes são basicamente constituídos por sensores e atuadores, com a função de simular sistemas reais a uma escala mais reduzida.

Neste projeto, foi desenvolvido um sistema em miniatura de uma casa inteligente [3], representada na Figura 4. As funcionalidades disponíveis da “Casa Inteligente”, são:

- Controlo da ativação geral da casa;
- Controlo do alarme;
- Ligação do controlo de temperatura;
- Controlo da porta de entrada;
- Controlo da iluminação das escadas;
- Controlo da iluminação interna;
- Controlo de temperatura.



**Figura 4- Representação da casa inteligente [3]**

## **2.2. OBJETIVO DA PLATAFORMA**

Este projeto pretende ser uma ferramenta utilizada no ensino da automação. A junção da plataforma de controlo com o kit didático faz com que o controlo do sistema automatizado possa ser executado.

Através deste sistema, o ensino da automação é executado de uma forma didática.

## **2.3. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 2**

A plataforma WALC é definida como um laboratório remoto destinado ao ensino da automação. O acesso ao Laboratório é feito local ou remotamente.

Resumidamente, a plataforma simula sistemas automatizados reais (ou virtuais), que podem ser utilizados no ensino da automação.

# CAPÍTULO 3

## SIMULAÇÃO

*A simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos. Envolve a criação de modelos, mais ou menos detalhados, da realidade e, com base nesta modelação, são realizadas observações e inferências nas características de operação do sistema virtual ou real [13].*



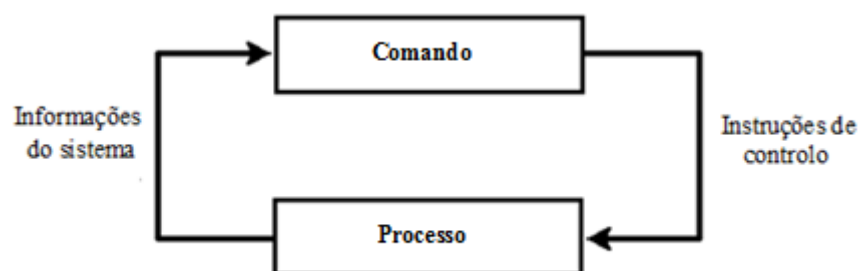
### 3. SIMULAÇÃO

Por definição, a simulação é uma técnica de análise que consegue representar um sistema recorrendo a um computador para entender o seu comportamento e perceber se corresponde aos requisitos da especificação [13]. Consiste na modelação de um sistema real, simulando as condições reais de operação. Para realizar uma simulação é necessário descrever o comportamento do sistema, construir teorias e hipóteses considerando observações efetuadas ao sistema, usar modelos para a descrição/especificação do comportamento do sistema. Estas suposições, que normalmente tomam a forma de relações lógicas ou matemáticas, constituem o modelo.

Resumidamente, simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos. Envolve a criação de modelos da realidade e, com base nesses modelos, são realizadas observações e inferências nas características de operação do sistema real representado [14].

Neste trabalho, é abordada a problemática de simulação de sistemas automatizados.

Essa simulação imita um sistema automático real (Figura 5), constituído por duas partes: parte operativa e parte de comando.



**Figura 5- Sistema automatizado composto por um controlador e uma parte operativa [1]**

A simulação destes dois elementos envolve a modelação de dois sistemas complementares: o modelo do controlador (que contempla o programa e o funcionamento cíclico do controlador) e o modelo do processo (onde toda a parte física é modelada) [15].

Resumidamente, estas duas partes estão conectadas, o que potencia a troca de informação entre elas.

A simulação pode ser executada de duas formas: *Software-In-the-Loop* (SIL) e *Hardware-In-the-Loop* (HIL).

### **3.1. SIMULAÇÃO SOFTWARE-IN-THE-LOOP**

Simulação *Software-In-the-Loop* (SIL) é a simulação onde existe interação entre o modelo do controlador e o modelo do processo. Ambos são modelados e a interação entre esses modelos é analisada por simulação. Por vezes também se fazem simulações onde apenas um dos modelos é simulado (“em malha aberta”) [16].

Os sistemas automatizados (controlador e processo) podem ser avaliados e desenvolvidos através do uso das ferramentas SIL, oferecendo um risco reduzido na experimentação de diferentes técnicas e metodologias de controlo sem a necessidade do uso de componentes reais, de uma plataforma real para simulação e teste. Desta forma, é possível poupar investimentos e evitar consequências perigosas resultantes de erros no projeto inicial dos controladores, permitindo, assim, a identificação e eliminação desses erros. O uso da simulação SIL para as diferentes regiões de operação, incluindo modos com falhas, permite a seleção das estratégias adequadas de controlo na plataforma real, pois facilita a repetição de testes de desempenho [17].

No caso das simulações de SIL, tanto a parte operativa como a de controlo são convertidas em modelos de simulação e depois simuladas num circuito fechado. Ou seja, a parte de processo é modelada utilizando diferentes técnicas e, em seguida é conectada a um modelo de controlador.

### **3.2. SIMULAÇÃO HARDWARE-IN-THE-LOOP**

Simulação *Hardware-in-the-loop* (HIL) refere-se a uma simulação onde o software de comando corre no controlador real e é criado o modelo da parte operativa que interage com o controlador real. Também, em simulação HIL, há simulações em “malha aberta” à semelhança de SIL [18].

A simulação HIL é uma ferramenta bastante útil para avaliação e desenvolvimento de controladores, oferecendo um risco nulo na experimentação de diferentes técnicas e metodologias de controlo. Desta forma, é possível poupar investimentos e evitar



consequências perigosas resultantes de erros no projeto inicial dos controladores, permitindo, assim, a identificação e eliminação desses erros [19].

Logicamente, este método de simulação HIL é mais dispendioso que o utilizado nas simulações SIL, por ser necessário a utilização de controladores físicos, mas os resultados obtidos são mais confiáveis na medida em que o programa desenvolvido para o controlador é executado no próprio controlador. Este aspeto é muito vantajoso, principalmente quando são considerados controladores industriais mais complexos, ligados em rede, onde os tempos de troca de sinais entre eles próprios e a parte física podem apresentar situações críticas.

Uma condição necessária para a realização de experiências de simulações HIL é a capacidade de simulação em tempo real dos modelos matemáticos dos componentes.

### **3.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SIL E HIL**

Simulações *Software-in-the-Loop* e *Hardware-in-the-Loop* são duas abordagens importantes, responsáveis pela analogia do comportamento de sistemas automatizados. Ambas as abordagens permitem testar as funções dos componentes dos sistemas sob determinadas condições.

Têm a vantagem de serem mais seguros, e reduzir substancialmente o tempo de análise. Mas a principal vantagem, é que permitem que a simulação de determinados protótipos seja executada sem que o mesmo seja construído [21].

Comparando os dois métodos, ambos tem vantagens e desvantagens inerentes aos mesmos. O HIL, apenas a parte operativa do sistema é simulada, a parte de comando é executada no controlador real, assim o erro referente à simulação é reduzido, ou seja, a simulação é mais fidedigna. Na simulação SIL, esta é executada na íntegra através de software, logo o seu custo é substancialmente mais reduzido [21].

### **3.4. SIMULADORES**

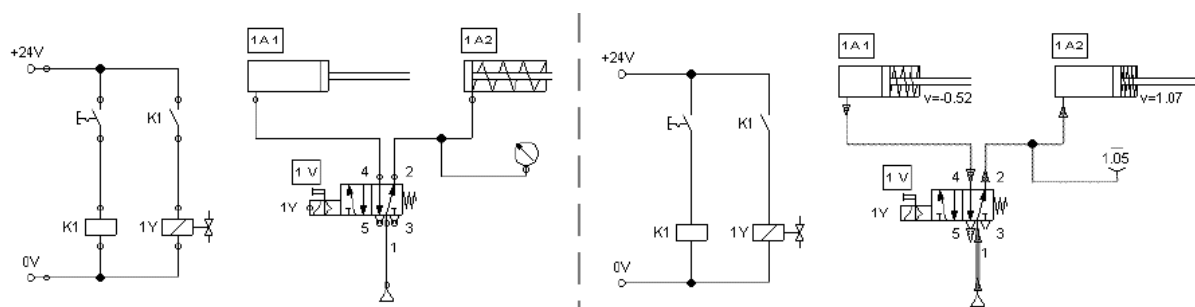
Nesta secção apresenta-se um estudo sobre os simuladores comerciais.

### 3.4.1. FluidSim

O FluidSim é um simulador desenvolvido para o ensino de dinâmica dos fluidos no sistema operacional Windows. É um software comercial vendido pela FESTO, produzido em parceria FESTO Didactic, Universidade de Paderborn e empresa Art Systems Software. Este simulador de circuitos eletropneumáticos pode ser usado em combinação com equipamentos de treinamento produzidos pela FESTO [22].

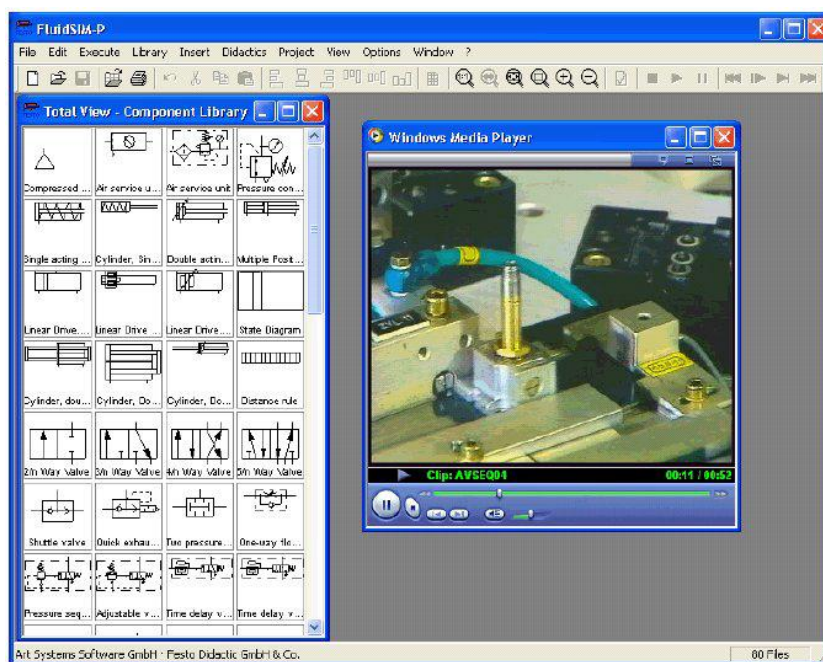
#### Características

A característica mais marcante do FluidSim é sua conexão com funcionalidades de CAD e simulação. Os esquemas dos circuitos eletropneumáticos utilizados são desenhados de acordo com a norma DIN ISO 1219 e podem realizar simulações realísticas dos modelos baseados no funcionamento físico dos componentes. A Figura 6 mostra esquemas eletropneumáticos à esquerda e à direita a simulação no FluidSim.



**Figura 6- CAD e Simulação no FluidSim [22]**

O software pode ser usado para fins educacionais, pois possui uma completa descrição textual de cada componente, assim como vídeos e animações que demonstram o funcionamento de cada modelo (equipamento) utilizado. Ênfase na interface intuitiva, fácil de aprender, foi dada durante o desenvolvimento.



**Figura 7- Ajuda no FluidSim [22]**

Todos os componentes da simulação são inspirados em equipamentos reais produzidos pela FESTO, até sons produzidos por equipamentos reais são reproduzidos na simulação.

Assim, os experimentos simulados podem ser construídos em bancadas didáticas da FESTO da mesma maneira como são simulados.

### 3.4.2. Sim

O 20-Sim é um simulador de comportamento de sistemas dinâmico como sistemas: elétricos, mecânicos e hidráulicos ou qualquer combinação entre eles. A modelação é feita de forma gráfica capacitando o projeto e análise dos sistemas dinâmicos modelados como se fossem esquemas de engenharia. É um software comercial de produzido pela empresa de mesmo nome [23].

Na Figura 8 são representados modelos do 20-Sim, sendo à esquerda um esquema gráfico de um cilindro oscilante, e, à direita, o modelo gráfico de Bond.

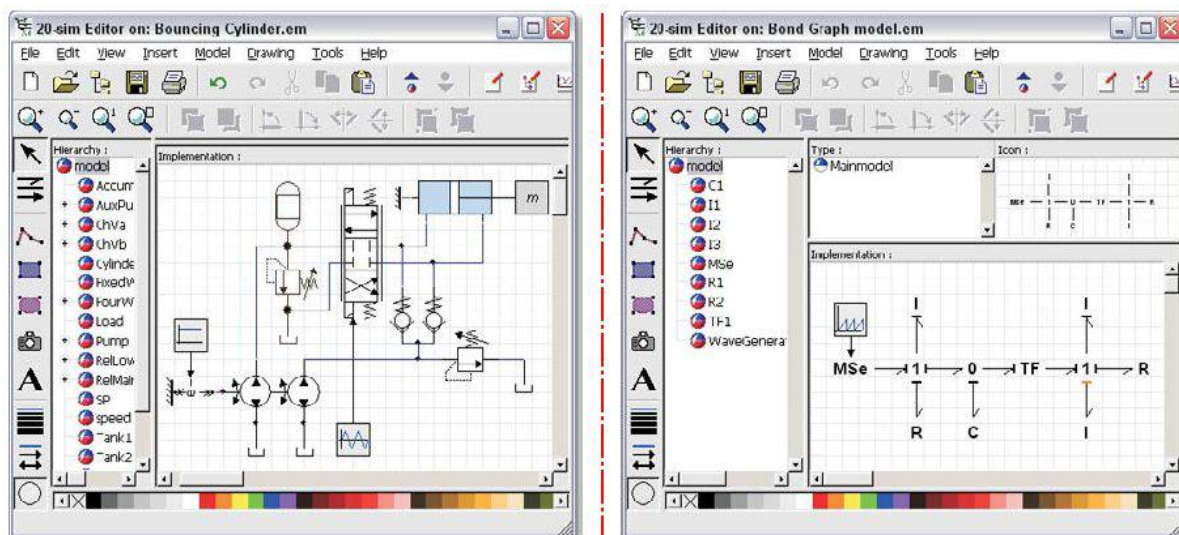


Figura 8- Modelos do 20-Sim [23]

A biblioteca de modelos possui diversos componentes separados por seis categorias: elétricos, hidráulicos, mecânicos, térmicos, diagramas de blocos e gráficos de Bond. Todos os modelos utilizados na biblioteca são abertos, isto é, podem ser modificados. As equações que representam o comportamento dos modelos são escritas utilizando uma notação matemática padronizada, o SIDOPS+. Esta notação matemática que também pode ser chamada de linguagem é utilizada para representar gráficos de Bond. Com a utilização destes modelos o 20-Sim pode simular uma grande gama de sistemas dinâmicos, incluindo sistemas: lineares, não lineares, de tempo discreto, de tempo contínuo e híbridos.

## Características

Os algoritmos de simulação utilizados possibilitam resolver equações diferenciais ordinárias (ODE) e equações algébricas diferenciais (DAE). Diversos métodos de integração numérica podem ser usados como: passo variável, passo fixo de várias ordens.

Modelos do 20-Sim podem ser exportados para o MatLab ou Simulink como um arquivo m ou uma função S. A escolha entre exportação como função de transferência ou espaço de estados também pode ser feita [23].

### 3.4.3. COSIMIR

O COSIMIR é um software de simulação de sistemas robotizados criado pela Universidade de Dortmund, e mais tarde desenvolvido pelas empresas EF-Robotertechnik e EFR-Systems.

A simulação utiliza modelos tridimensionais para simulação e programação de movimentos de equipamentos industriais, como braços de robôs, linhas de montagem automatizadas, CNCs, entre outros [24].

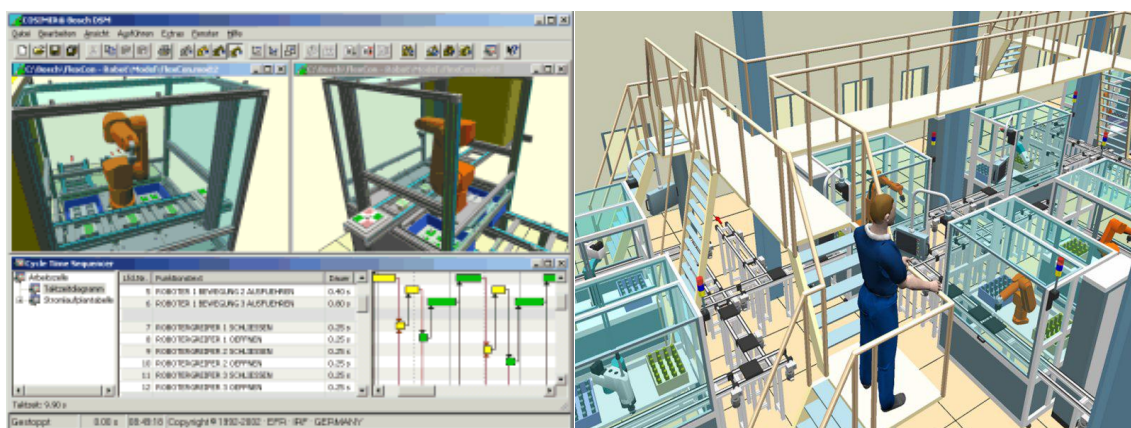


Figura 9- Interface e simulação do COSIMIR [13]

Na Figura 9 está ilustrado à esquerda uma visão da programação sequencial de um braço de robô e à direita a visualização do funcionamento da linha de montagem num ambiente virtual em que se pode navegar com a câmara [24].

## 3.5. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 3

Existem dois tipos de simuladores: Hardware-In-the-Loop (HIL) e Software-In-the-Loop (SIL); neste trabalho apenas serão utilizadas as simulações SIL. Ambas são úteis e têm, cada uma delas, o seu espaço próprio para serem utilizadas, dependendo da finalidade que se pretende com a utilização de simulação.

O custo referente ao desenvolvimento da simulação de um determinado sistema é substancialmente inferior ao desenvolvimento do mesmo, constituído na íntegra por elementos reais. A simulação não pode substituir na totalidade as tarefas que um sistema real possui, pois, uma simulação é apenas uma análise de modelos, logo não pode realizar as

tarefas que o mesmo executa. Mas a simulação, pelas características anteriormente descritas, pode ajudar a melhorar o software de comando do sistema e é de muita utilidade na execução e desenvolvimento do projeto de controladores industriais confiáveis.

Neste trabalho, a simulação é usada para o ensino da automação, ou seja, simulações de sistemas automatizados serão utilizadas para que o utilizador possa resolver variadíssimos problemas, através desta técnica de análise.

# CAPÍTULO 4

## KITS DIDÁTICOS

*Neste capítulo analisam-se os kits/bancadas didáticas existentes no mercado, no sentido de serem tomadas decisões sobre um kit a ser projetado para a plataforma WALC.*

*Tendo em conta a seleção das soluções técnicas a adotar há a preocupação de ter em consideração a atual gama disponível no mercado e a evolução dos níveis de operacionalidade, fiabilidade e de segurança exigíveis, recorrendo a critérios de minimização de custos, tanto no que se refere a investimento inicial como de manutenção.*





## **4. KITS DIDÁTICOS**

Como foi referido anteriormente um dos objetivos do trabalho é o desenvolvimento de kits didáticos de automação. Foi tomada a decisão de colocar o foco em sistemas pneumáticos e hidráulicos, visto ser complementar a tudo o que existe referente à plataforma WALC.

Pretende-se que o desenvolvimento destes kits seja inovador, e apresente uma alternativa aos kits existentes no mercado. Após uma primeira análise dos kits existentes no mercado concluiu-se que este “vasto mundo” e a existência de muitas e inúmeras opções poderiam levar a que este capítulo, se as apresentasse todas, fosse demasiado exaustivo e repetitivo. Nesse sentido decidiu-se circunscrever o estudo de soluções de um único fabricante, por ser um dos mais representativos e também porque se pretendia, desde o início, dar mais atenção a sistemas pneumáticos e hidráulicos. Desta forma, foi selecionado o fabricante Festo [25]. Pelo facto de cumprir as condições enumeradas.

### **4.1. ANÁLISE DOS KITS EXISTENTES**

Descrevem-se de seguida as características dos kits didáticos comerciais selecionados.

#### **4.1.1. Painel de simulação pneumática/eletropneumática (Festo)**

Este painel de simulação pneumático e electropneumático [26], produzida pela Festo, foi especialmente desenhado para permitir a montagem rápida de circuitos de comando pneumáticos e elétricos, com vista ao desenvolvimento de ensaios práticos que complementam a aprendizagem teórica dos conceitos de Automatização Pneumática Industrial. A estrutura do painel é fabricada em aço, suportada por 4 rodízios giratórios que facilitam sua movimentação, como está representado da Figura 10.

Trata-se de um importante recurso para a formação profissional, em todos os níveis de estudo: básico, técnico e académico.

Todo o equipamento foi estruturado em módulos, permitindo que seja configurado de acordo com o nível de complexidade desejado.

O painel possui um tampo duplo que permite aos alunos trabalharem simultaneamente nas duas partes, simplificando a montagem dos circuitos. O tampo é fabricado em alumínio, com rasgos equidistantes de 50 mm, utilizados para a fixação rápida dos componentes pneumáticos a serem utilizados nos ensaios. Uma bandeja revestida de borracha facilita o apoio dos componentes a serem utilizados durante a montagem dos circuitos.



**Figura 10- Representação do painel de simulação pneumática/electropneumático [26]**

Este painel é constituído por componentes pneumáticos, eletropneumáticos e elétricos, que em conjunto formam a bancada de simulação didáticas.

#### **4.1.2. Painel de simulação hidráulica/eletro-hidráulicas (Festo)**

O painel simulador de hidráulica e eletro-hidráulica [27] foi especialmente desenhado para permitir a montagem rápida de circuitos de comando hidráulicos e elétricos, com vista ao desenvolvimento de ensaios práticos que complementam a aprendizagem teórica dos conceitos de Automatização Hidráulica Industrial.

Como no painel anterior, todo o equipamento foi estruturado em módulos, permitindo que seja configurado de acordo com o nível de complexidade desejado.

A estrutura do painel é idêntica à do painel simulador de Hidráulica e eletro-hidráulica.

O painel é constituído por componentes hidráulicos, eletro-hidráulicos e elétricos, que em conjunto formam a bancada de simulação didática.

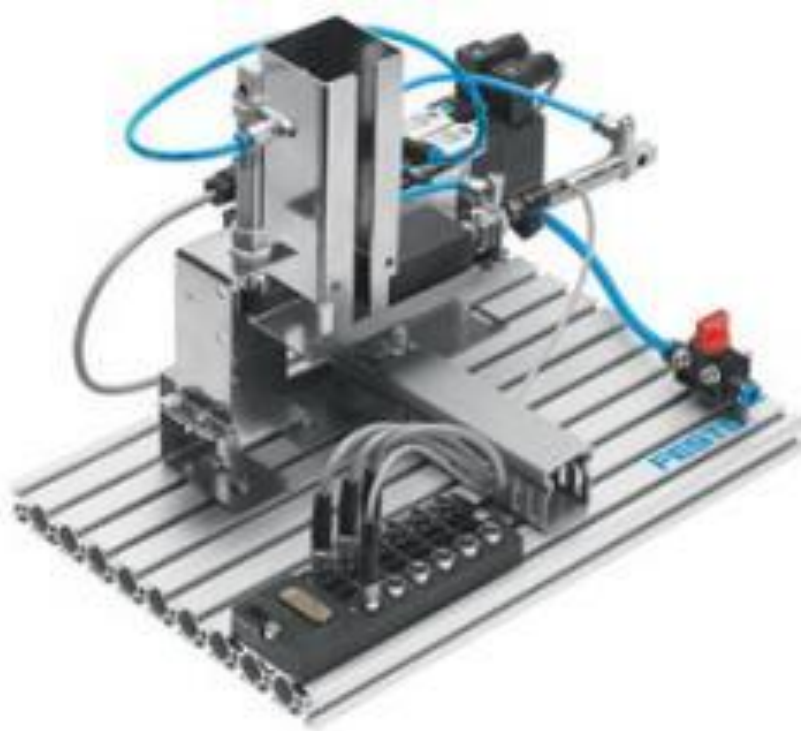
Resumidamente, os componentes são praticamente idênticos aos utilizados na bancada descrita anteriormente, com a diferença de utilizar como fluido de transferência de energia a águas, ao invés do ar.

#### **4.1.3. Sistemas de produção**

Estes kits tentam representar os vários tipos de sistemas de produção existentes na indústria.

##### **Estação de Empilhamento**

Este kit pretende descrever o funcionamento de parte do processo de armazenamento verificado numa linha de produção (Figura 11).



**Figura 11- Representação da estação de empilhamento da Festo [28]**

Para que armazenamento seja efetuado da melhor forma, as peças têm de estar ordenadas, para que no momento desejado, a sua utilização, possa ser efetuada, da maneira mais eficaz.

Este processo resume-se ao deslocamento das peças armazenadas, através de um cilindro horizontal. Um sensor magnético controla a posição do cilindro.

A estação é constituída pelos seguintes (principais) componentes [28]:

- Cilindro de simples ação
- Cilindro de dupla ação
- Válvulas solenoides
- Sensores magnéticos

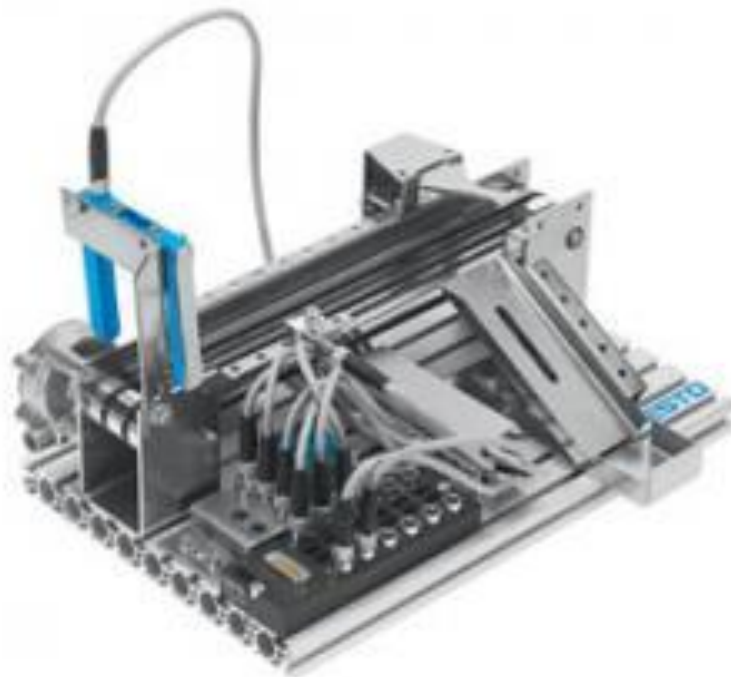
Os componentes complementares da estação são:

- Compressor
- PLC

A estação tem um preço de 715 euros (não incluído o respetivo compressor e PLC) [28].

### **Estação de transporte**

Esta estação, simula o transporte de peças, referente a um genérico processo de produção (Figura 12).



**Figura 12- Representação da estação de transporte da Festo [29]**

O motor elétrico pode rodar nos dois sentidos, sendo as peças detetadas pelos sensores (Indutivos, Óticos, eletromagnéticos).

A estação é constituída pelos seguintes (principais) componentes [29]:

- Motores elétricos
- Sensores Indutivos
- Sensores Óticos
- Sensores eletromagnéticos

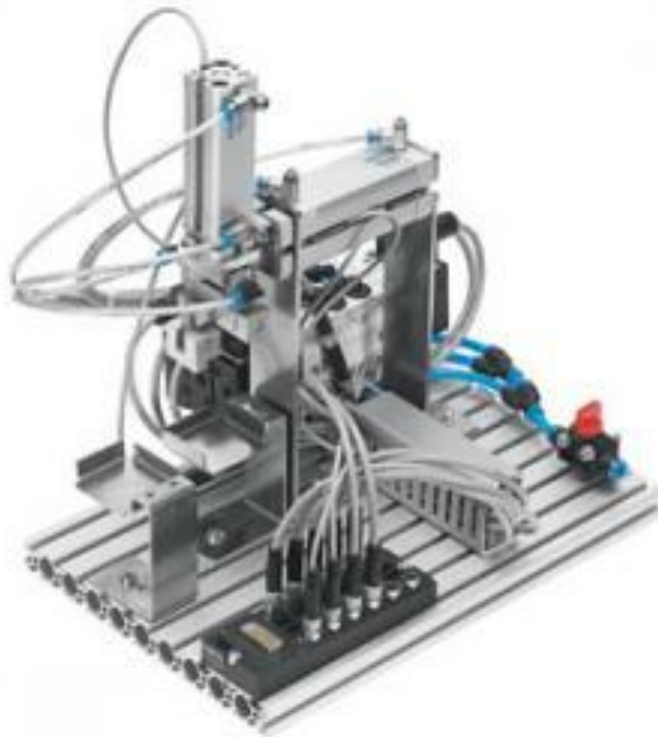
Os componentes complementares da estação são:

- Compressor
- PLC

A estação tem um preço de 1035 euros (não incluído o respetivo compressor e PLC) [29].

### **Estação de armazenamento**

Esta estação efetua o transporte de uma determinada peça, entre dois pontos, através de um manipulador composto por dois cilindros e uma garra (Figura 13).



**Figura 13- Representação da estação de transporte da Festo [30]**

A estação é constituída pelos seguintes (principais) componentes [30]:

- Cilindros de duplo efeito
- Válvulas solenoides
- Sensores magnéticos

Os componentes complementares da estação são:

- Compressor
- PLC

A estação tem um preço de 1047,20 euros (não incluído o respetivo compressor e PLC) [30].

## **4.2. DESENVOLVIMENTO DE KITS DIDÁTICOS**

Com base na pesquisa elaborada nos pontos anteriores, os principais kits são referentes a dois tipos: Pannel de simulação pneumática/electropneumática e hidráulica/eletro-hidráulica e Kits didáticos referentes a sistemas de produção.

Relativamente aos painéis referidos, estes são constituídos por muitos elementos de vários tipos (hidráulicos, eletro-hidráulicos, pneumáticos e eletropneumáticos), que podem ser dispostos de variadíssimas formas. Embora possua muitas vantagens, o seu custo é relativamente elevado. Assim, pretende-se desenvolver um sistema que substitua este painel, e que tenha um custo mais baixo.

Já, os sistemas referentes aos sistemas de produção possuem uma ótima relação entre funcionalidade e preço. Logo, o desenvolvimento de sistemas deste tipo é desnecessário.

Pretende-se que seja um sistema evoluído que, por um lado, aumentará a fiabilidade do equipamento sob controlo, reduzindo a zona de influência de cada um dos seus órgãos e assim as consequências da sua saída de serviço.

Por outro lado, para facilitar futuras alterações do sistema, incluindo a sua eventual ampliação a domínios não previstos.

#### **4.2.1. Painel pneumático/eletropneumático**

Este sistema será desenvolvido para permitir o ensino dos conceitos fundamentais do controlo de sistemas pneumático/eletropneumáticos. Construído com o objetivo de ser facilmente instalado numa sala de aula, mesmo em ambientes multidisciplinares, a bancada é composta por conjuntos de dispositivos pneumáticos, eletropneumáticos e dispositivos elétricos. Para maior integração com processos de automação. Este sistema pode facilmente substituir as bancadas pneumáticas e eletropneumáticas representadas anteriormente, a um custo substancialmente menor.

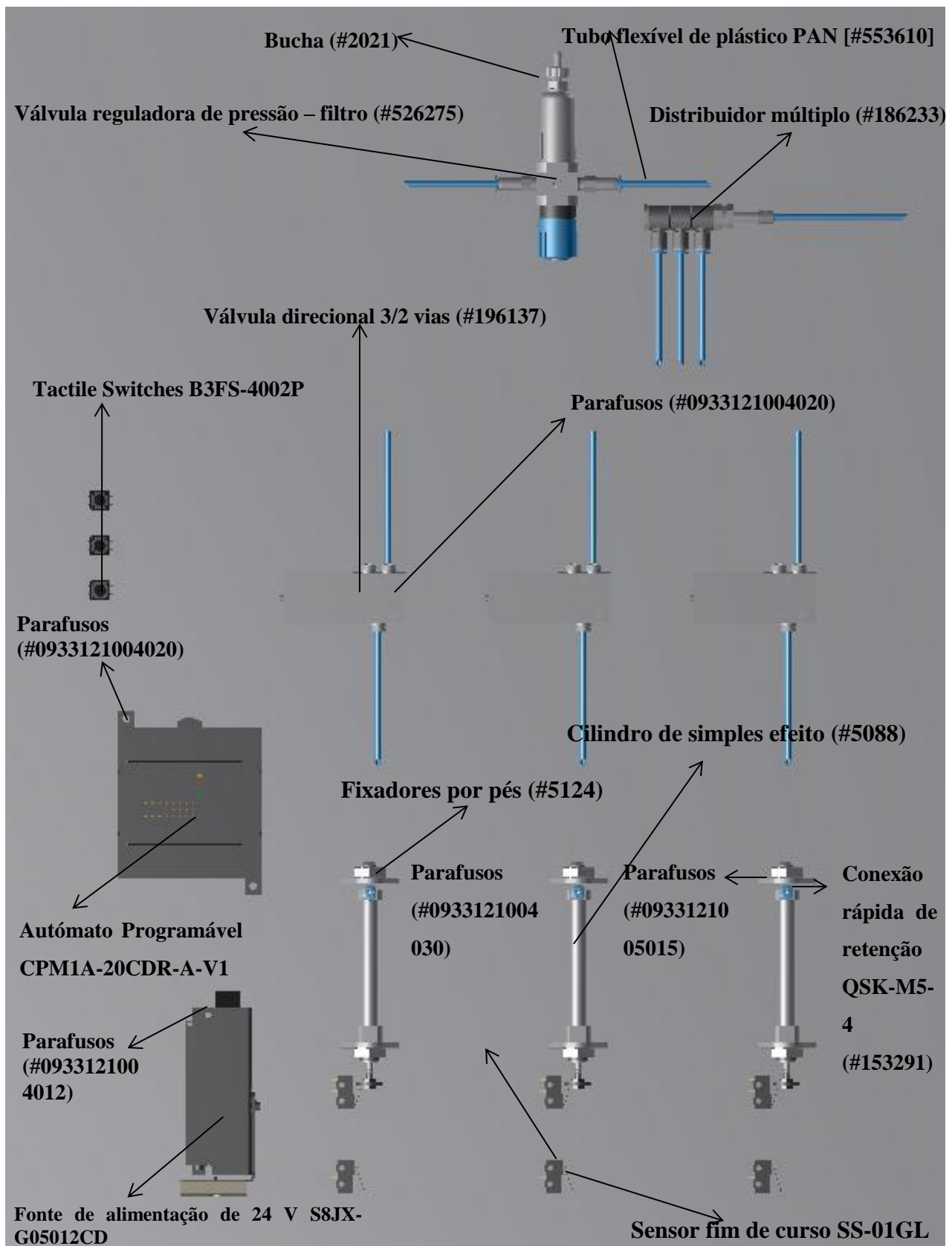
Basicamente esta bancada ativará/desativará um determinado número de cilindros. É através do controlo dos mesmos que o ensino de conceitos de controlo de sistemas é executado. Para esta bancada foram escolhidos cilindros de simples efeito, controlados por válvulas direcionais 3/2 com retorno por mola, pelo facto de apresentarem um custo mais reduzido.

##### **4.2.1.1. Constituintes da bancada**

A bancada, representada na Figura 14, é constituída por: um compressor de 230 V/50 Hz e 135 W, uma válvula reguladora de pressão- filtro, um distribuidor múltiplo com três saídas,

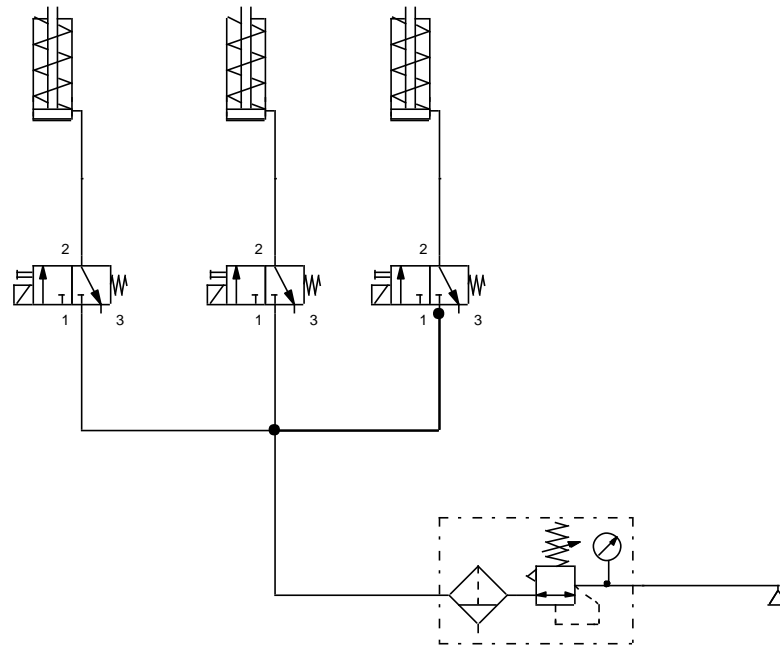
três válvulas direcionais, de 3/2 vias com acionamento elétrico e retorno por mola, três cilindros de simples efeito, com acionamento pneumático e retorno por mola, 2,7 metros de tubo flexível de plástico, responsável pela ligação dos componentes pneumáticos do sistema, seis sensores fim de curso, para determinar a posição de cada cilindro, 3 botões, utilizados para efetuar o controle manual do sistema (um botão de iniciação, paragem e emergência), um autômato programável e uma fonte de alimentação de 24 V.



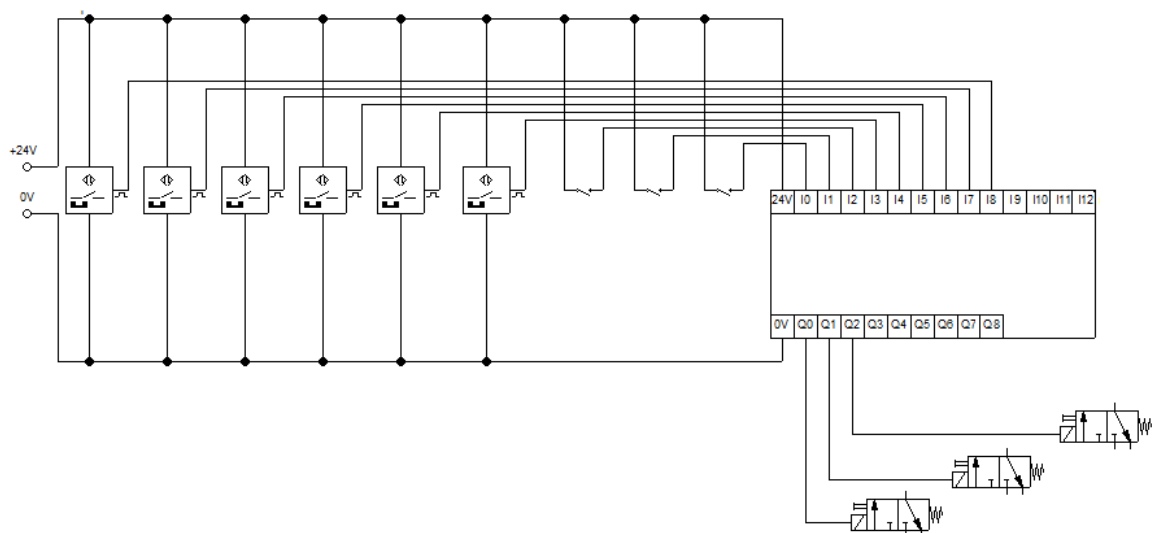


**Figura 14- Representação da bancada pneumática/electropneumática, utilizando o Autodesk Inventor Professional 2013**

O circuito pneumático da bancada utilizado, segundo ISO 1219-1 e ISO 1219-2, é apresentado na Figura 15, o diagrama do circuito interno está representado na Figura 16, a lista de pontos na Tabela 1 e a especificação dos seus componentes é exposto na Tabela 2.



**Figura 15- Representação do circuito pneumático da bancada pneumática/electropneumática, através do FluidSIM-P**



**Figura 16- Representação do diagrama do circuito elétrico da bancada pneumática/electropneumática, através do FluidSIM-P**

**Tabela 1- Lista de pontos referente à bancada pneumática/electropneumática**

Controlador CPM1A-10CDR-A-V1					
Função	Ponto	DI (Digital Input)	DO (Digital Output)	AI (Analogic Input)	AO (Analogic Output)
Sensores Chave Fim de Curso 1 (cilindro 1)	a0_B1	1			
Sensores Chave Fim de Curso 2 (cilindro 1)	a1_B1	1			
Sensores Chave Fim de Curso 1 (cilindro 2)	a0_B2	1			
Sensores Chave Fim de Curso 2 (cilindro 2)	a1_B2	1			
Sensores Chave Fim de Curso 1 (cilindro 3)	a0_B3	1			
Sensores Chave Fim de Curso 2 (cilindro 3)	a1_B3	1			
Botão de acionamento	Start	1			
Botão de paragem	Stop	1			
Válvula direcional de 3/2 vias biestável 1	B1/C1 (avançar/ recuar)		1		
Válvula direcional de 3/2 vias biestável 2	B2/C2 (avançar/ recuar)		1		
Válvula direcional de 3/2 vias biestável 3	B3/C3 (avançar/ recuar)		1		

**Tabela 2- Especificação dos componentes da bancada pneumática/eletropneumática**

Descrição	Código do Componente
Compressor (Compressor silencioso)	F41 045
2,7 m de tubo flexível de plástico PAN da Festo	553610
Válvula reguladora de pressão – filtro LFR-M5-D-7-O-5M-MICRO da Festo	526275
Distribuidor múltiplo QSLV3-G1/8-4 da Festo	186233
Bucha para tubo flexível C-1/8-P-6 (conexão Distribuidor múltiplo)	2021
3 Válvulas direcionais 3/2 vias, solenoide MHE2-MS1H-3/2G-QS-4-K da Festo	196137
9 Parafusos Cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M4x20 da importinox (fixação das válvulas direcionais 3/2 vias)	0933121004020
3 Cilindros pneumáticos de simples efeito normalizados ESN-8-50-P da Festo	5088
3 Fixadores por pés HBN-8/10x2 da Festo (suporte dos cilindros pneumáticos de simples efeito)	5124
3 Conexões rápidas de retenção QSK-M5-4 da Festo (conexão dos cilindros pneumáticos de simples efeito)	53291
3 Sensores fim de curso SS-01GL da Omron	SS-01GL
12 Parafusos Cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M5x15 da importinox (fixação dos fixadores por pés)	0933121005015
3 Tactile Switches B3FS-4002P	B3FS-4002P

**Tabela 2- Especificação dos componentes da bancada pneumática/electropneumática (Continuação)**

1 Controlador CPM1A-20CDR-A-V1 da Omron	CPM1A-20CDR-A-V1
2 Parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x20 (suporte do autômato programável)	0933121004020
Uma fonte de alimentação de 24V S8JX-G05012CD da Omron	S8JX-G05012CD
2 Parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x20 (suporte do autômato programável)	0933121004020
Um cabo de conexão CQM1-C1F02 da Omron (conexão entre o autômato programável e um computador pessoal)	CQM1-C1F02
Um cabo de conversão USB CS1W-C1F31 da Omron (conexão entre o autômato programável e um computador pessoal)	USB CS1W-C1F31

#### **4.2.1.2. Compressor de 230 V/50 Hz, 135 W (#F41 045)**

Para que o sistema automatizado funcione, é necessário o fornecimento de ar comprimido. O fornecimento de ar comprimido é executado por um compressor (Figura 17), que produz ar comprimido silenciosamente através de um caudal máximas de 25 litros/minuto, é adequado para áreas onde o nível de ruído seja muito importante, como nos laboratórios [31].

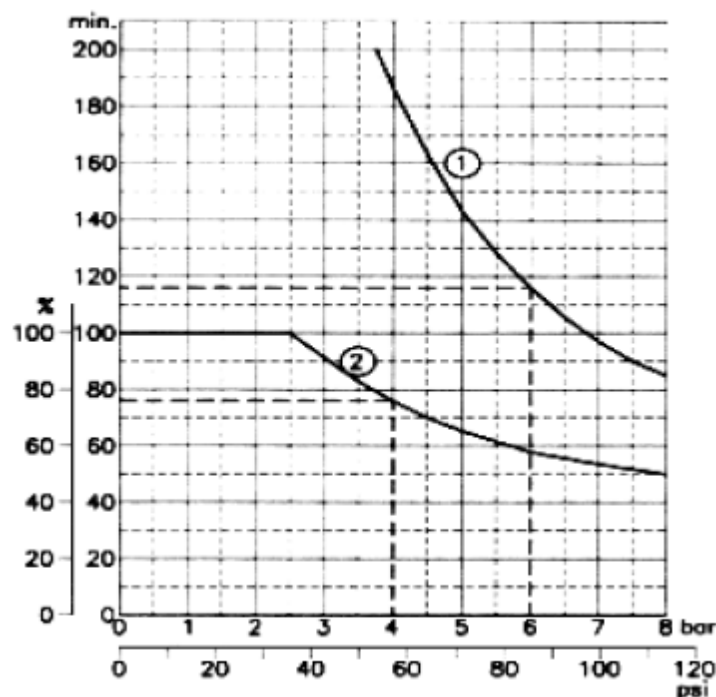
As características do compressor encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 17- Representação do Compressor de 220 V AC, 50/60 Hz da CIF [31]**

É de referir, que na figura 18, a curva 1 indica o tempo de funcionamento contínuo, com pressões variáveis entre -0,95 e 42 bar ,antes do relé de proteção térmica do motor se ativar (temperatura do motor cerca de 115 ° C). Estes tempos são calculados a partir do início, com uma temperatura de 20 C. Por exemplo: 6 bar = 116 minutos [31].

A curva 2 representa a proporção recomendada pelo fabricante entre o tempo de funcionamento e paragem do sistema. Por exemplo: a 4 bar é aconselhado um tempo de funcionamento de 76%, correspondente a uma utilização de 46 minutos numa hora [31].



**Figura 18- Representação das curvas representativas dos limites contínuos do compressor 230V150Hz à temperatura ambiente [31]**

#### **4.2.1.3. Tubo flexível de plástico PAN**

O ar comprimido, fornecido pelo compressor, terá que ser transportado para os restantes constituintes (distribuidor múltiplo, válvulas direcionais, cilindros). Esse transporte é executado por um tubo flexível de plástico PAN [32].

As características do tubo, encontram-se especificadas no anexo A.

#### **4.2.1.4. Válvula reguladora de pressão – filtro LFR-M5-D-7-O-5M-MICRO**

Para que o ar proveniente do compressor seja filtrado e regulado, utilizou-se uma válvula reguladora de pressão-filtro (Figura 19), cujas características, encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 19- Válvula reguladora de pressão – filtro LFR-M5-D-7-O-5M-MICRO da Festo [32]**

#### **4.2.1.5. Distribuidor múltiplo QSLV3-G1/8-4**

O distribuidor múltiplo faz a distribuição do ar filtrado (Figura 20).

As características do distribuidor encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 20- Distribuidor múltiplo QSLV3-G1/8-4 da Festo [32]**

#### **4.2.1.6. Bucha para tubo flexível C-1/8-P-6**

A bucha permite o acoplamento do tubo flexível ao distribuidor múltiplo.

As características da bucha encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 21- Representação da bucha para tubo flexível C-1/8-P-6 [32]**

#### **4.2.1.7. Válvula direcional solenoide MHE2-MS1H-3/2G-QS-4-K**

Esta válvula direcional, de 3/2 vias com acionamento elétrico e retorno por mola, quando o atuador é ativado, o fornecimento de ar comprimido para os cilindros é iniciado.

As características da válvula encontram-se especificadas no anexo A.

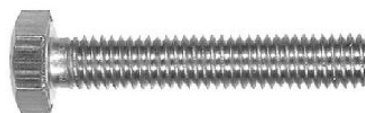


**Figura 22- Representação válvulas solenoide MHE2-MS1H-3/2G-QS-4-K [32]**

#### **4.2.1.8. Parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M4x20**

Estes parafusos têm a função de fixar as válvulas direcionais (Figura 24) à base da bancada. Cada válvula necessita de três parafusos, assim, é necessário utilizar-se 9 parafusos.

As características do parafuso referido encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 23- Parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M4x20 da importinox [33]**



#### **4.2.1.9. Cilindro pneumáticos de simples efeito normalizados ESN-8-50-P**

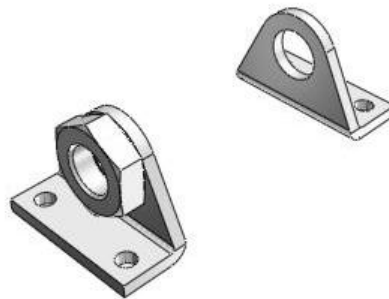
Através do ar comprimido, o ar cilindro pneumático transforma essa energia em trabalho mecânico.

As características do cilindro referido encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 24- Representação cilindro pneumáticos de simples efeito normalizados ESN-8-50-P da Festo [32]**

#### **4.2.1.10. Fixador por pés -HBN-8/10x2 #5123 da Festo**

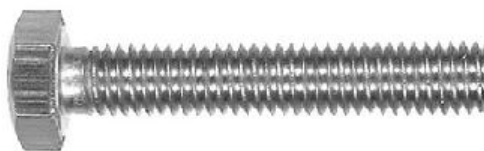


**Figura 25- Representação do fixador por pés -HBN-8/10x2 #5123 da Festo [32]**

#### **4.2.1.11. Parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M5x15**

Para aparafusar os fixadores á base da bancada, são usados 4 parafusos (Figura 27) para cada fixador.

As características do parafuso referido encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 26- Parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M5x15 da importinox [33]**

#### **4.2.1.12. Conexão rápida de retenção QSK-M5-4**

Esta conexão liga o cilindro pneumático ao tubo flexível.

As características da referida conexão encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 27 -Representação da conexão rápida de retenção QSK-M5-4 #153291 da Festo [32]**

#### **4.2.1.13. Sensores fim de curso SS-01GL**

Os sensores de fim de curso destinam-se, como o nome indica, a assinalar quando determinada parte em movimento atinge certa posição, neste caso do cilindro.

As características do sensor referido encontram-se especificadas no anexo A.

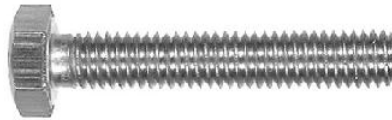


**Figura 28 -Representação dos sensores fim de curso SS-01GL da Omron [6]**

#### **4.2.1.14. Parafuso de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x30**

Para a fixação dos sensores fim de curso, utiliza-se parafusos de cabeça sextavada com rosca total /Figura 30).

As características do parafuso referido, encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 29 -Representação do parafuso de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x30 da importinox [33]**

#### **4.2.1.15. Tactile Switches B3FS-4002P**

Este elemento representa um botão de ativação ou paragem do sistema.

O sistema é constituído por três botões:

- Iniciação
- Paragem
- Paragem de emergência



**Figura 30 -Tactile Switches B3FS-4002P da Omron [6]**

#### **4.2.1.16. Controlador CPM1A-20CDR-A-V1 da Omron**

Com base na lista de pontos, para monitorização, controlo e gestão dos equipamentos, recorreu-se ao controlador do tipo aqui definido, constituído 12 entradas digitais e 8 saídas digitais.

As características do controlador referido, encontram-se especificadas no anexo A.

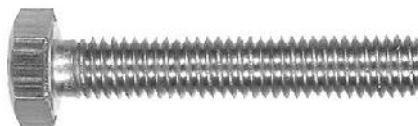


**Figura 31- Representação do controlador CPM1A-20CDR-A-V1 da Omron [6]**

#### **4.2.1.17. Parafuso de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x20**

Para a fixação do controlador utiliza-se parafusos de cabeça sextavada com rosca total, representada da Figura 33.

As características do parafuso referido encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 32 -Representação do parafuso de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x20 da importinox [33]**

#### **4.2.1.18. Fonte de alimentação de 24V S8JX-G05012CD**

O controlador funciona com uma tensão de 24 V, assim, a fonte de alimentação converte a tensão da rede numa tensão de 24 V.

As características do alimentador referido encontram-se especificadas no anexo A.

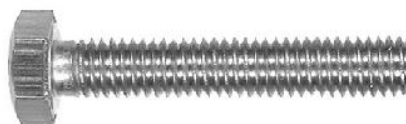


**Figura 33 -Representação da Fonte de alimentação de 24V S8JX-G05012CD da Omron [6]**

#### **4.2.1.19. Parafuso de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x12**

Para a fixação do alimentador utiliza-se parafusos de cabeça sextavada com rosca total, representada da Figura 35.

As características do alimentador referido encontram-se especificadas no anexo A.



**Figura 34 -Representação do parafuso de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x10 da importinox [33]**

Informações técnicas complementares referentes à instalação, manutenção, etc., de todos os equipamentos referenciados neste trabalho, encontram-se em anexo.

#### **4.2.1.20. Custo do projeto**

Existem no mercado, equipamentos que podem fazer a função que esta bancada executa.

Mas, devido ao preço dos mesmos, pretendeu-se desenvolver uma bancada (económica), que possa ser utilizada por um grande número de utilizadores, para o ensino da automação. Assim, o preço da mesma, será uma das principais características (Tabela 3)

**Tabela 3- Custo referente à bancada pneumática/eletropneumática**

<b>Descrição dos constituintes</b>	<b>Custo</b>
1 Válvula reguladora de pressão – filtro LFR-M5-D-7-O-5M-MICRO	41,74 €
1 Distribuidor múltiplo QSLV3-G1/8-4	16,49 €
3 Buchas para tubo flexível C-1/8-P-6	15,87 €
3 Buchas para tubo flexível C-1/8-P-6	15,87 €
3 Válvulas direcionais 3/2 vias, solenoide MHE2-MS1H-3/2G-QS-4-K	264,12 €
3 Cilindros pneumáticos de simples efeito normalizados ESN-8-50-P	131,76 €
3 Fixadores por pés HBN-8/10x2	10,23 €
3 Conexões rápidas de retenção QSK-M5-4	33 €
3 Sensores fim de curso SS-01GL	6,63 €
3 Tactile Switches B3FS-4002P	3,39 €
<b>Custo total</b>	<b>493,87 €</b>

Para que a bancada especificada funcione é necessário algum equipamento complementar (compressor e PLC), o custo destes equipamentos está referido na Tabela 4.

**Tabela 4- Custo referente ao equipamento complementar da bancada pneumática/eletropneumática**

<b>Descrição dos equipamentos</b>	<b>Custo</b>
1 Compressor (Compressor silencioso):	579,30 €
1 Controlador CPM1A-20CDR-A-V1	860,92 €
<b>Custo total</b>	1440,22

### **4.3. ASPETOS SALIENTADOS DO CAPÍTULO 4**

O valor do kit didático (sem os respetivos equipamentos complementares) tem um custo total de 493,87 euros. O custo de uma bancada pneumática/electropneumática não é conhecido, mas prevê-se que custe 3ou 4 vezes mais que o kit desenvolvido.





# CAPÍTULO 5

## ABORDAGEM UTILIZADA

*Neste capítulo elabora-se a metodologia de modelação dos constituintes de sistemas automatizados (controlador e parte física), utilizada nas abordagens de simulação SIL.*

*A utilização global e sistemática de todas as modelações, desta abordagem, constitui uma base de dados, que pode ser utilizada para modelar sistemas automatizados do mesmo tipo.*



## 5. ABORDAGEM UTILIZADA

Outro dos objetivos do trabalho, consiste no desenvolvimento de simulações de sistemas automatizados virtuais, que podem ser usados no ensino da automação.

Assim, é necessário modelar as duas partes dos sistemas automatizados (parte de comando e operativa) separadamente, tendo em conta que há uma troca de informação entre elas. Cada parte do sistema será modelada de uma forma distinta, utilizando metodologias diferentes.

Pretende-se que as simulações virtuais imitem da melhor forma os sistemas automatizados reais, para que a aprendizagem verificada pela simulação seja aproximada à de um sistema automatizado real. Logo, determinadas metodologias devem ser idênticas aos sistemas reais.

Como foi referido, a plataforma WALC foi apoiada pela Omron [6], logo, utilizar-se-á a mesma metodologia usada nos sistemas automatizados reais para efetuar a simulação.

Por metodologias, definimos a linguagem de programação do sistema e ambiente de trabalho (software) onde a mesma decorre. Logo, as simulações serão desenvolvidas com o auxílio do CX-One [33] (CX-Programmer [34], Cx-Simulator [35] e Cx-Designer [36]), utilizando a linguagem de programação *ladder* [37].

### 5.1. MODELAÇÃO DO CONTROLADOR

A parte de controlo é desempenhada por um PLC, assim, a sua modelação consiste na simulação do respetivo PLC (programa e comportamento dinâmico).

Um programa de um PLC pode ser obtido através de um conjunto de expressões booleanas extraídas da interpretação de um formalismo que tenha servido de base à sua especificação. As expressões são avaliadas individualmente em cada “scan”, sendo o resultado correspondente armazenado na memória intermédia do PLC. No final de cada execução, a parte da memória intermédia correspondente às saídas é copiada.

As linguagens de programação utilizadas nos PLCs seguem a norma IEC 61131-3, norma que padroniza as linguagens de programação usadas em automação industrial, usando PLCs, e podem ser representadas de duas formas:

- Linguagens Textuais:

Lista de Instruções (Instruction List - IL) [38] – foi criada nos Estados Unidos da América e baseia-se na representação gráfica de lógica de relés em escada. É uma linguagem inspirada na linguagem assembly. Caracteriza-se por ser sequencial, com instruções que possuem um operador, que dependendo do tipo de operação, podem incluir um ou mais operandos, separados por vírgulas. Geralmente é mais utilizada em processos simples.

- Texto estruturado (Structured Text - ST) [38] – é uma linguagem bastante poderosa uma vez que baseia-se em Ada, Pascal e linguagem C. Pode ser utilizada na definição de blocos de função complexos, que podem ser utilizados com quaisquer outras linguagens, e no detalhe das ações e transições de um programa SFC. Já contém os elementos essenciais de uma linguagem de programação moderna, com instruções condicionais (IF-THEN-ELSE e CASE OF) e instruções de iterações.

- Linguagens Gráficas:

Diagrama de Funções Sequenciais (SFC) [38] – foi desenvolvida baseada em redes de Petri e Grafset e descreve graficamente o comportamento sequencial de um programa de controlo. O SFC ajuda a decompor o problema em partes devido à sua estruturação. Ajuda na obtenção de programas organizados uma vez que conseguimos manter uma visão global do problema. Consiste numa série de etapas ligadas a blocos de ação e transições. Cada etapa representa um estado do sistema. A transição está associada a uma condição, que quando verdadeira, desativa o passo anterior e ativa a etapa seguinte.

- Diagramas de Contacto (Ladder Diagram - LD) [38] – têm as suas raízes na Europa sendo uma linguagem textual semelhante ao assembler. O nome Ladder deve-se à representação desta se parecer com um escada, onde duas barras verticais paralelas são interligadas pela lógica de controlo formando os degraus da escada. É uma linguagem gráfica baseada em símbolos semelhantes aos encontrados nos esquemas elétricos.

- Diagrama de Blocos de Funções (Function Block Diagram - FBD) [38] – esta linguagem é muito popular na Europa e é utilizada na indústria de processos. Expressa o comportamento de funções, blocos de funções e programas como um conjunto de blocos gráficos interconectados, como um desenho de um circuito eletrónico. Em termos de fluxo de sinais entre os elementos de processamento é muito semelhante à representação de um sistema. Permite um desenvolvimento hierárquico e modular do software uma vez que podem ser construídos blocos de funções mais complexos a partir de outros menores e mais simples.

Seguidamente, está ilustrada e apresentada a metodologia e softwares utilizados para a finalidade de apresentação de uma abordagem sistemática para a modelação do controlador e dos sistemas físicos (processo) correspondentes a um sistema automatizado. A escolha do ambiente de simulação, e respetivo software, foi condicionada pelo facto da empresa Omron ser um dos parceiros do projeto WALC. Salienta-se que qualquer ambiente de simulação poderia ser utilizado para a implementação da metodologia proposta neste capítulo.

Neste caso, a simulação desenvolve-se através do software Cx-Programmer e Cx-Simulator. O programa do controlador (linguagem de programação *ladder*) é colocado no Cx-Programmer, que basicamente simula a memória do PLC. Para finalizar, usar-se-á o Cx-Simulator para concluir a modelação, simulando o processador do respetivo PLC.

A linguagem de programação foi pré-definida, mas é necessário seleccionar a formalismo, para que a modelação tenha uma compreensão mais profunda.

Realizou-se uma análise aos vários formalismos existentes para modelação do comportamento destes sistemas automatizados: redes de Petri, Statecharts, Autómatos Finitos e SFC (IEC 60848).

Pretende-se que o formalismo utilizado na modelação da parte de comando seja adequado a sistemas sequenciais, tenha uma grande capacidade de modelação. Assim, de acordo com a Tabela 5, onde estão representadas as vantagens e desvantagens de cada formalismo, foi seleccionado o SFC (IEC 60848) [38].

**Tabela 5- Vantagens e Desvantagens de cada Especificação**

	Vantagens	Desvantagens
Redes de Petri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representação Gráfica;</li> <li>• Fácil aprendizagem;</li> <li>• Modelação hierárquica com uma matemática bem definida e fundamento prático;</li> <li>• Abordagem top-down, assim como bottom-up em diferentes níveis de abstração;</li> <li>• Simulável, demonstrável, adequado a projeto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base formal complexa, que não se justifica no estudo de sistemas sequencias de complexidade baixa/média;</li> </ul>
Statecharts	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representação Gráfica;</li> <li>• Hierarquia entre estados;</li> <li>• Ortogonalidade (representação de atividades paralelas);</li> <li>• Interdependência entre estados (mecanismos de comunicação);</li> <li>• Suporte UML.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é a melhor solução para modelação/estudo de sistemas sequencias de complexidade baixa/média;</li> </ul>
Autómatos finitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo Simples;</li> <li>• Melhores resultados na implementação nas linguagens devido ao grupo restrito de linguagens a que pertence.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo menos poderoso</li> <li>• Grupo restrito de linguagens</li> <li>• Impossibilidade de modelação de processos paralelos;</li> </ul>
SFC (IEC 60848)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Claridade;</li> <li>• Notação compacta;</li> <li>• Fácil aplicação a sistemas paralelos;</li> <li>• Estrutura Gráfica;</li> <li>• Normalizado;</li> <li>• Interpretação fácil</li> <li>• Apresentação sintética;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade na aplicação em sistemas de comportamento não sequencial complexos;</li> </ul>

### 5.1.1. SFC (IEC 60848)

O SFC é um formalismo de especificação do comportamento de sistemas automatizados, geralmente aplicado a sistemas sequenciais. Deriva do formalismo inicialmente desenvolvido em França *Grafcet* em 1977 quando a AFCET juntamente com a ADEPA definiram o Grafcet como uma representação gráfica que traduz, sem ambiguidade, a evolução do ciclo de um automatismo sequencial. Em 1988, a IEC adoptou o Grafcet [7] como Norma Internacional sob o nome inglês SFC ,com o título *Preparation of Function Charts for Control Systems* (Preparação de Diagramas Funcionais para Sistemas de Controlo) e referência IEC 848. Com a alteração nas referências das Normas IEC, ocorrida recentemente, passou a IEC 60848. Embora tenha sido preparada visando aplicações eletrotécnicas, o SFC pode ser aplicado também a sistemas não elétricos (hidráulicos, pneumáticos ou mecânicos, por exemplo), pois descreve as funções de controlo relativas a determinado sistema, independente do campo de aplicação. O método de representação proposto serve como ‘ferramenta de comunicação’ entre as diferentes áreas (disciplinas tecnológicas) envolvidas no desenvolvimento e utilização de sistemas automatizados. A linguagem Grafcet permite a fácil comunicação entre os profissionais de várias áreas envolvidas no processo de automação [7]. O Grafcet não substitui o Ladder na programação, uma vez que não se trata de uma linguagem de programação mas sim de especificação, mas serve para facilitar o programa, uma vez que permite uma visualização lógica de todas as etapas de funcionamento da automação.

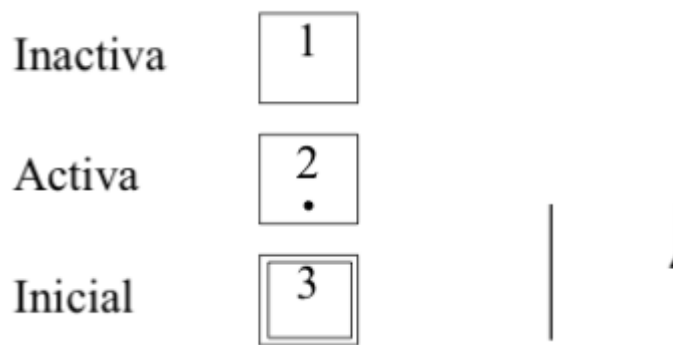
O diagrama funcional Grafcet permite descrever os comportamentos de um automatismo em função das informações que recebe. O Grafcet não pretende minimizar as funções lógicas que representam a dinâmica do sistema, pelo contrário o seu potencial reside na imposição de um funcionamento rigoroso, evitando desta forma incoerências, bloqueios ou conflitos durante o funcionamento do mesmo [39].

As suas principais características são [7]:

- Legibilidade e apresentação sintética;
- Facilidade de interpretação;
- Modelação de funções lógicas
- Modelação da concorrência
- Oferece uma metodologia de programação estruturada, *Top-Down* (de forma descendente) que permite o desenvolvimento conceptual do geral para o particular.

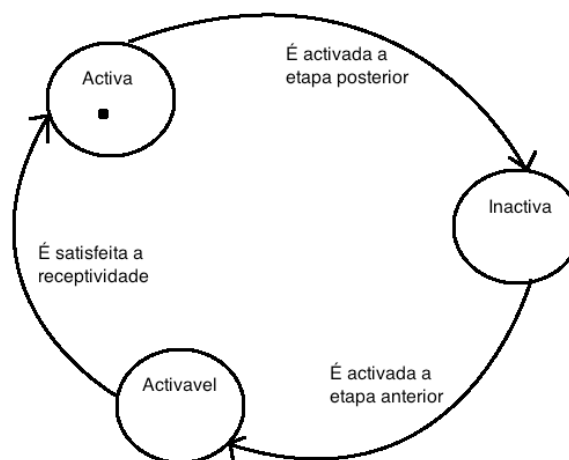
- Introduce um conceito "tarefa" de forma hierarquizada.
- Normalizado

Um Grafcet é um diagrama funcional que descreve de forma gráfica os diferentes comportamentos de um automatismo e é constituído por etapas e transições (Figura 35). Os elementos básicos que compõem o grafcet são etapas, transições, arcos, associadas a recetividade e ações e seguem regras de evolução. O Grafcet tem uma estrutura e uma interpretação. As ações estão ligadas às etapas e as recetividades estão associadas às transições. As ligações orientadas ligam as etapas às transições, mas também ligam as transições às etapas.



**Figura 35 -Etapas e Ligações [7]**

A dinâmica evolutiva de um Grafcet é dada segundo um conjunto de regras que nos permite realizar a evolução seguindo uma lógica ao longo do grafo. Uma etapa pode estar ativa, inativa ou ativável e a sua evolução é demonstrada pela Figura 36.



**Figura 36 -Evolução Grafcet [7]**



As regras às quais um Grafcet deve obedecer são as seguintes:

### Regra 1: Inicialização

Na inicialização do sistema devem apenas ser ativadas as etapas iniciais. Para que possa evoluir é necessário que pelo menos uma destas etapas esteja validada (Figura 37).

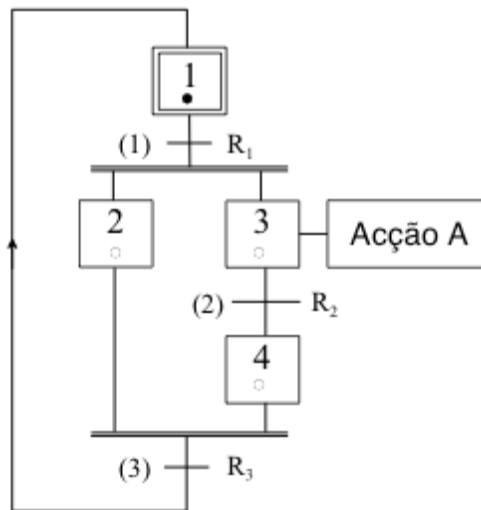


Figura 37 -Grafcet Exemplo [7]

### Regra 2: Transposição de uma transição

Uma transição (2) é válida quando todas as etapas anteriores estão ativas. Quando a recetividade se torna verdadeira ( $R_2=1$ ), tendo já sido validada, a transição pode ser efetuada (Figura 38).

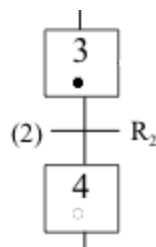


Figura 38 -Representação Regra 2 [38]

### Regra 3: Evolução das etapas ativas

Uma transição é definida como transposta quando todas as etapas que a antecedem foram desativadas e as que a sucedem estão ativas (Figura 39).

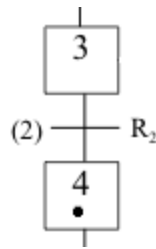


Figura 39 -Representação Regra 3 [38]

#### Regra 4: Evoluções Simultâneas

Várias transições que possam ser disparadas em simultâneo são disparadas em simultâneo (Figura 40).

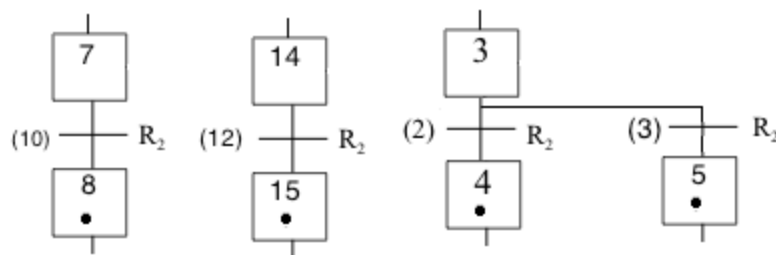


Figura 40 -Dois Exemplo Representação Regra 4 [7]

#### Regra 5: Ativação e desativação simultânea de uma etapa

Quando uma etapa é ativada e desativada simultaneamente, vai permanecer ativa uma vez que dá-se prioridade à ativação sobre a desativação.

#### Vantagens

As características mais evidentes que apresenta são a estrutura gráfica que possui, a facilidade de interpretação, a clareza, assim como a sua simplicidade de aplicação, por ser mais empírico. Apesar da sua simplicidade o Grafcet é um formalismo rigoroso tendo ainda maior aplicabilidade em situações reais, sendo este normalizado. Apresenta também uma sintaxe rigorosa com poucos e poderosos elementos e permite a modelação de processos concorrentes.

## **Desvantagens**

A principal desvantagem deste formalismo é o facto de ser de difícil aplicação a processos que não sejam sequenciais, de média/alta complexidade. Por exemplo, a modelação do comportamento de um elevador utilizando este formalismo pode ser uma tarefa árdua.

## **Modelação Algébrica**

Como foi explicado, a linguagem Ladder foi considerada para a elaboração dos programas para PLC, que são introduzidos nos software Omron também considerados na implementação desta abordagem. Como o formalismo SFC (IEC 60848) é utilizado na modelação do controlador é necessário proceder à sua tradução algébrica de forma que as equações obtidas sirvam de base à obtenção dos programas em linguagem Ladder que se pretende implementar.

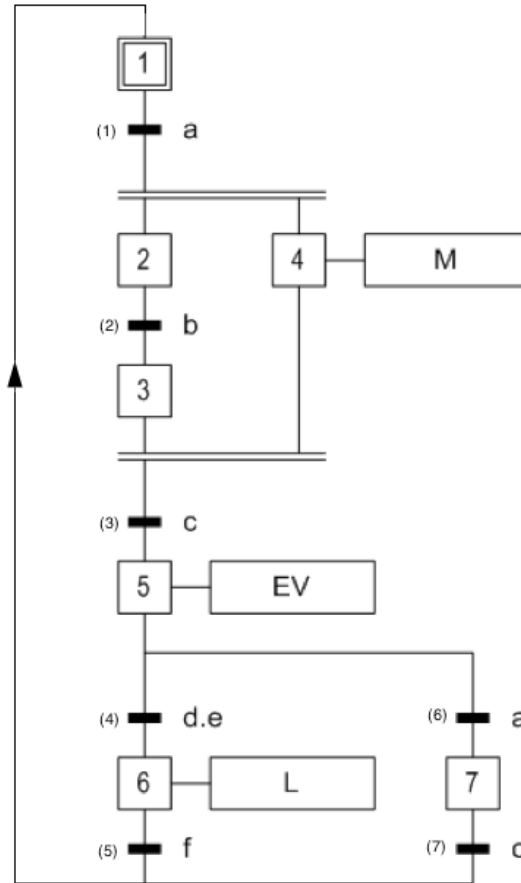
Esta secção mostra como converter uma especificação SFC num conjunto de equações algébricas.

Essa conversão compreenderá três módulos que serão executados sequencialmente [7]:

- Cálculo das condições de transposição das transições;
- Cálculo das variáveis de etapa;
- Cálculo das ações;

### **Cálculo das Condições de Transposição**

Para melhor elucidar o processo de conversão da especificação SFC para as equações algébricas irá ser utilizado o SFC ilustrado na Figura 42.



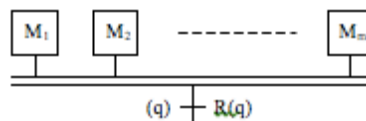
**Figura 41 -Exemplo SFC [7]**

Sendo  $CT(q)$  (Condição de Transposição) uma variável booleana associada a cada transição  $q$  (Figura 40) pode ser transposta se for validada (todas as etapas precedentes a esta transição estão ativas) e também se a recetividade associada à  $TC(q)$  for verdadeira. Assim, geralmente a  $CT(q)$  pode ser formulada da seguinte forma:

$$CT(q) = \left( \prod_{j=1}^m XM_j \right) . R(q) \quad (1)$$

onde:

- $XM_j$ : Variável Booleana associada à etapa  $M_j$ ,
- $R(q)$ : Recetividade associada à transição  $(q)$ .



**Figura 42- Recetividade, após sequências simultâneas de acordo com (1) [7]**

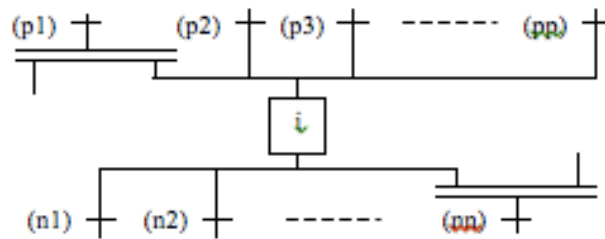
## Cálculo das Variáveis de atividade de etapa

A formulação geral da atividade de cada etapa pode ser representada de acordo com a equação booleana:

$$X_i(t+1) = \sum_{j=1}^p CT(p_j) + X(t) \cdot \prod_{k=1}^n \overline{CT(n_k)} \quad (2)$$

onde:

- $CT(p_j)$ : Condição de transposição da transição ( $P_j$ )
- $p$ : transição anterior à etapa  $i$
- $n$ : transição posterior à etapa  $i$



**Figura 43 -Etapa de acordo com (2) [7]**

De acordo com a equação (1) apresentada no ponto anterior, tem-se, para as condições de transposição das transições do Grafcet da Figura 41, que ( $X_i$  representa a atividade da etapa  $i$ ):

$$CT(i) := /X1 \cdot /X2 \cdot /X3 \cdot /X4 \cdot /X5 \cdot /X6 \cdot /X7$$

$$CT(1) := X1 \cdot a$$

$$CT(2) := X2 \cdot b$$

$$CT(3) := X3 \cdot X4 \cdot c$$

$$CT(4) := X5 \cdot d \cdot e$$

$$CT(5) := X6 \cdot f$$

$$CT(6) := X5 \cdot a$$

$$CT(7) := X7 . c$$

De acordo com a equação (2) do capítulo anterior tem-se para a atividade das etapas o seguinte:

$$X1 (t+1) := CT(i) + CT5 + X1 (t) . /CT(1)$$

$$X2 (t+1) := CT1 + X2 (t) . /CT(2)$$

$$X3 (t+1) := CT2 + X3 (t) . /CT(3)$$

$$X4 (t+1) := CT1 + X4 (t) . /CT(3)$$

$$X5 (t+1) := CT3 + X5 (t) . /(CT(4) + CT(6))$$

$$X6 (t+1) := CT4 + X6 (t) . /CT(5)$$

$$X7 (t+1) := CT6 + X7 (t) . /CT(7)$$

Assim, são obtidas as equações algébricas da especificação SFC, as quais serão utilizadas para modelar o programa referente ao controlador.

Com a utilização dessas equações obtêm-se o diagrama de *Ladder* correspondente ao programa do controlador.

## 5.2. MODELAÇÃO DO PROCESSO

Tendo como finalidade o desenvolvimento de simulações de sistemas automatizados, constituídos por diversos elementos, essa simulação terá, numa fase inicial, que modelar todos os elementos pertencentes aos sistemas automatizados. Mas, como o número de elementos é substancialmente elevado, neste trabalho apenas representaremos os elementos mais importantes.

O formalismo utilizado para a modelação do processo tem que ser um formalismo que permita modelar o tempo e também um formalismo que permita modelar comportamentos não determinísticos, pois estas características são inerentes ao funcionamento da parte física de um sistema automatizado. Um dos formalismos que cumpre esses requisitos é Autómatos

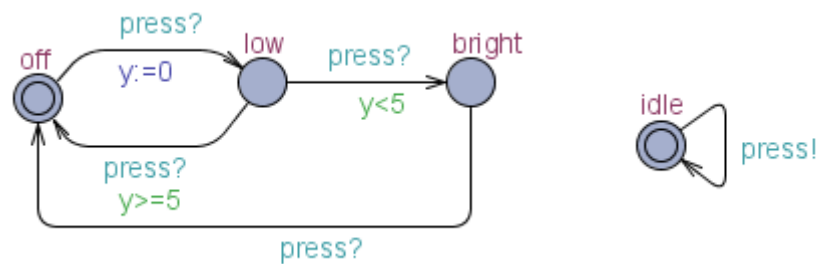
Finitos Temporizados [37], daí que tenha sido este o formalismo o escolhido para a modelação da parte física.

### 5.2.1. Autómatos finitos temporizados

Autómatos temporizados, que são máquinas de estado finitas com relógios. Os relógios são a maneira de controlar o tempo. O tempo é contínuo e os relógios medem o seu progresso. É permitido testar o valor de um relógio ou restaurá-lo. O tempo progredirá ao mesmo ritmo para todo o sistema [40].

De seguida apresentam-se as definições básicas para a sintaxe e semântica dos autómatos temporizados. Considere-se  $C$  um conjunto de relógios e  $B(C)$  um conjunto de conjunções sobre simples condições da forma  $x \diamond c$  ou  $x - y \diamond c$ , onde  $x, y \in C$ ,  $c \in \mathbb{Q}$  e  $\diamond \in \{<, \leq, =, \geq, >\}$ . Um autómato temporizado é, portanto, um grafo finito direccionado com condições e restauros dos relógios.

A figura 44 (a) mostra um autómato temporizado que modela uma lâmpada simples. A lâmpada tem três posições: **off**, **on**, e **bright**. Se o utilizador pressionar o interruptor, isto é, sincroniza com a **press?**, a lâmpada acende. Se o utilizador pressionar o interruptor outra vez, a lâmpada apaga-se. No entanto, se o utilizador for rápido e pressionar rapidamente o interruptor duas vezes, a lâmpada acende e torna-se brilhante. O modelo do utilizador é mostrado em 1 (b). O utilizador pode pressionar o interruptor aleatoriamente e em qualquer altura ou nunca o pressionar. O relógio  $y$  da lâmpada é usado destetar se o utilizador é rápido ( $y < 5$ ) ou lento ( $y \geq 5$ ) [40].



(a) Lâmpada (b) Utilizador

Figura 44- Exemplo simples de uma lâmpada [40]

**Definição 1:** Um autômato temporizado é um sêxtuplo  $(L, \ell_0, C, A, E, I)$ , onde  $L$  é um conjunto de posições,  $\ell_0 \in L$  é a posição inicial,  $C$  é o conjunto dos relógios,  $A$  é o conjunto de ações, co-ações e ações internas,  $E \subseteq L \times A \times B(C) \times 2^C \times L$  é o conjunto de pontes entre as posições com uma ação, um guarda e um conjunto de relógios que serão restaurados, e  $I : L \rightarrow B(C)$  atribui invariantes às posições [41].

**Definição 2:** Seja  $(L, \ell_0, C, A, E, I)$  um autômato temporizado. A semântica é definida como um sistema de transição etiquetada  $\langle S, s_0, \rightarrow \rangle$ , onde  $S \subseteq L \times \square^C$  é o conjunto de estados,  $S_0 = (\ell_0, \mu_0)$  é o estado inicial, e  $\rightarrow \subseteq S \times \{ \square_{\geq 0} \cup A \} \times S$  é a relação de transição tal que [41]:

$$\text{a) } (\ell, \mu) \xrightarrow{d} (\ell, \mu + d) \text{ se } \forall d': 0 \leq d' \leq d \Rightarrow u + d' \in I(\ell), \text{ e}$$

$$\text{b) } (\ell, \mu) \xrightarrow{a} (\ell', \mu') \text{ se existe } e = (\ell, a, g, r, \ell') \in E \text{ tal que } u \in g, u' = [r \mapsto 0]u, \text{ e } u' \in I(\ell'),$$

onde para  $d \in \square_{\geq 0}$ ,  $u + d$  faz corresponder a cada relógio  $x$  em  $C$  o valor  $u(x) + d$ , e  $[r \mapsto 0]u$  denota a valoração do relógio que leva cada relógio de  $r$  até 0 e está de acordo com  $u$  sobre  $C \setminus r$ .

Os autômatos temporizados são compostos frequentemente por uma rede de autômatos temporizados sobre um conjunto comum de relógios e ações, consistindo em  $n$  autômatos temporizados,  $A_i = (L_i, \ell_i^0, C, A, E_i, I_i), 1 \leq i \leq n$ . Um vetor da posição é um vetor  $\bar{\ell} = (\ell_1, \dots, \ell_n)$ . As funções invariantes de cada autômato da rede são compostas numa função comum sobre os vectores de posição  $I(\bar{\ell}) = \bigwedge_i I_i(\ell_i)$ . Denota-se por  $\bar{\ell}[\ell_i' / \ell_i]$  o vetor onde o  $i$ -ésimo elemento  $\ell_i$  de  $\bar{\ell}$  é substituído por  $\ell_i'$ . De seguida define-se a semântica de uma rede de autômatos temporizados [40].

**Definição 3:** Seja  $A_i = (L_i, \ell_i^0, C, A, E_i, I_i)$  uma rede de  $n$  autômatos temporizados. E seja  $\bar{\ell}_0 = (\ell_1^0, \dots, \ell_n^0)$  o vetor de posição inicial. A semântica é definida como um sistema de



transição  $\langle S, s_0, \rightarrow \rangle$ , onde  $S = (L_1, \dots, L_n) \times \square^C$  é o conjunto de estados,  $(S_0 = (\bar{\ell}_0, u_0))$  é o estado inicial, e  $\rightarrow \subseteq S \times S$  é a relação de transição definida por:

- a)  $(\bar{\ell}, u) \rightarrow (\bar{\ell}, u + d)$  se  $\forall d': 0 \leq d' \leq d \Rightarrow u + d' \in I(\bar{\ell})$ , e
- b)  $(\bar{\ell}, u) \rightarrow (\bar{\ell}, [\ell_i' / \ell_i]u')$  se existe  $\ell_i \xrightarrow{gr} \ell_i'$  tal que  $u \in g, u' = [r \mapsto 0]u$ , e  $u' \in I(\bar{\ell})$ ,
- c)  $(\bar{\ell}, u) \rightarrow (\bar{\ell}, [\bar{\ell}_j / \bar{\ell}_j \ell_i' / \ell_i]u')$  se existe  $\ell_i \xrightarrow{cg_i r_i} \ell_i'$  e  $\ell_j \xrightarrow{cg_j r_j} \ell_j'$  tal que  $u \in (g_i \wedge g_j)$ ,  $u = [r_i \cup r_j \mapsto 0]u$  e  $u' \in I(\bar{\ell})$ .

Por exemplo, a lâmpada da Fig. 1 pode ter os seguintes estados:

$(\text{Lamp.off}, y=0) \rightarrow (\text{Lamp.off}, y=3) \rightarrow (\text{Lamp.low}, y=0) \rightarrow (\text{Lamp.low}, y=0.5) \rightarrow (\text{lamp.bright}, y=0.5)$

## 5.2.2. Modelação dos módulos da parte operativa

Para que a simulação dos sistemas automatizados seja elaborada, pretende-se criar uma “base de dados”, que pode ser utilizada para o desenvolvimento das simulações. É de referir, que essa base de dados é elaborada na linguagem formal de autómatos finitos temporizados, mas posteriormente, deverá ser convertida para a linguagem de programação *ladder*.

Essa base de dados será composta por diferentes tipos de elementos: pneumáticos, hidráulicos, eletropneumáticos, eletro-hidráulicos e elétricos.

### 5.2.2.1. Elementos pneumáticos/hidráulicos

O princípio de funcionamento dos componentes pneumáticos e hidráulicos é praticamente idêntico, com a exceção de funcionarem com diferentes fluídos de transmissão de energia. Assim, optou-se por efetuar apenas a modelação dos componentes pneumáticos.

Os equipamentos modelados, considerados os mais importantes são:

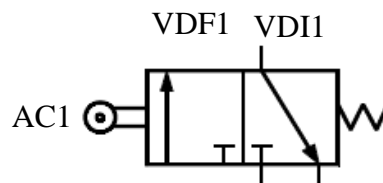
- Válvula direcional;
- Cilindro de simples efeito;

- Cilindro de duplo efeito;

## Válvulas direcionais

A simbologia básica das válvulas direcionais é composta de retângulos onde são representadas as suas funções, estas possuem diversas posições de trabalho, de vias e diferentes tipos de acionamento (acionamentos musculares, pneumáticos, mecânicos) [42].

Ou seja, existe uma grande quantidade de válvulas, de diversos tipos, mas como o princípio de modelação é idêntico, iremos modelar uma válvula direcional de 2/3 vias normalmente fechada, ativada mecanicamente, representada na Figura 45.



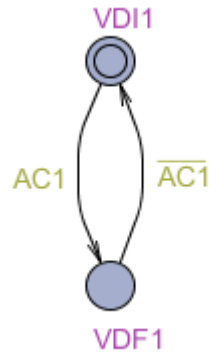
**Figura 45- Representação simbólica das válvulas direcionais de 3/2 vias normalmente fechada, ativada por um rolete mecânico**

A válvula tem um elemento de acionamento: “AC1”, que representa o acionamento efetuado pelo contacto. Considera-se a mola retorno está sempre acionada. Nesta modelação, considera-se que todas as variáveis do sistema (pressão, temperatura, etc.) estão dentro dos valores esperados (normais).

A válvula possui dois estados, o primeiro, quando o contacto “AC1” está desativo, o segundo, quando o contacto “AC1” é ativado.

Esta válvula possui uma entrada de ar comprimido. Considera-se que o fornecimento de ar nunca é posto em causa.

A modelação da válvula direcionar de 3/2 vias, normalmente fechada, está representada na Figura 46.



**Figura 46 - Modelo de Processo de uma válvula 3/2 vias normalmente fechada, ativada por um rolete mecânico**

Quando o contacto, definido por “AC1”, estiver ativo, o estado da válvula “VDF1” é ativado. Ao passo que, se estiver desativo “ $\overline{AC1}$ ” o estado da válvula “VDI1” será ativado, devido à força aplicada pela mola.

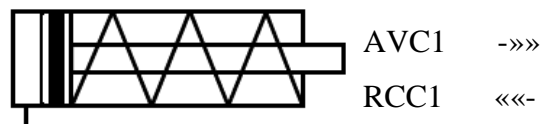
É de referir, que a modelação de uma válvula direcional biestável é praticamente idêntica, para isso, substitui-se a mola por um atuador, e ao invés da condição “ $\overline{AC1}$ ” tem-se a condição do determinado atuador (“ARC”).

## Cilindros

São os responsáveis pela conversão da energia de pressão do ar comprimido em energia mecânica de translação, e possuem dois tipos principais: cilindros de simples e duplo efeito.

### Cilindros de simples efeito

O cilindro de simples efeito está representado na Figura 47.



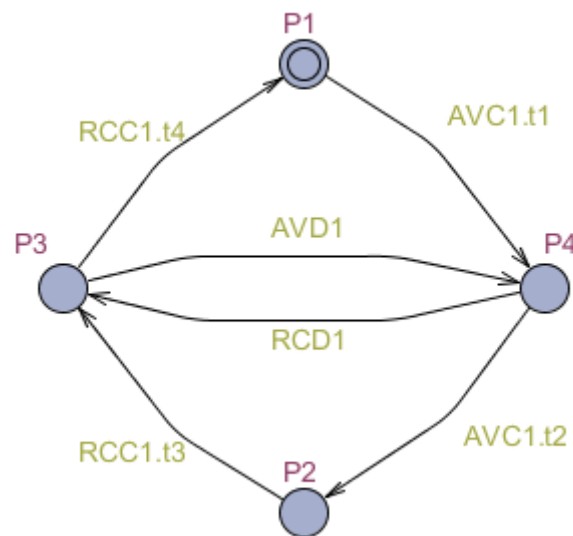
**Figura 47- Representação simbólica de um cilindro de simples efeito**

O cilindro possui uma entrada pneumática ativada por uma válvula, quando a mesma é ativada, o cilindro avança. Quando for desativada, o cilindro recua.

O estado “AVC1” representa o avanço do cilindro, “RCC1” representa o recuo do mesmo.

É de referir que o estado/posição do cilindro está dependente de um temporizador juntamente com as condições (“AVC1” e “RCC1”). O cilindro tem 4 posições/estados possíveis (“P1”, “P2”, “P3”, “P4”). O estado “P1” representa o cilindro recuado, o estado “P2” representa o cilindro avançado, o estado P4 representa a posição intermedia do cilindro a avançado e o estado “P3” representa a posição intermedia do cilindro a recuar.

A modelação do cilindro está representada na Figura 48.



**Figura 48 - Modelo de Processo de um cilindro de simples efeito**

### Cilindros de duplo efeito

O cilindro de duplo efeito está representado na Figura 49.



**Figura 49 - Representação simbólica de um cilindro de duplo efeito**

A modelação de um cilindro de duplo efeito é semelhante à de um cilindro de simples efeito. Com a diferença de possuir duas entradas pneumáticas, assim, não depende apenas de uma entrada.

O estado “AVD1” representa o avanço do cilindro, “RCD1” representa o recuo do mesmo.

É de referir que o estado/posição do cilindro está dependente de um temporizador juntamente com as condições (“AVD1” e “RCD1”). O cilindro tem 4 posições/estados possíveis (“P1”, “P2”, “P3”, “P4”). O estado “P1” representa o cilindro recuado, o estado “P2” representa o cilindro avançado, o estado P4 representa a posição intermedia do cilindro a avançado e o estado “P3” representa a posição intermedia do cilindro a recuar.

A modelação do cilindro está representada na Figura 50.

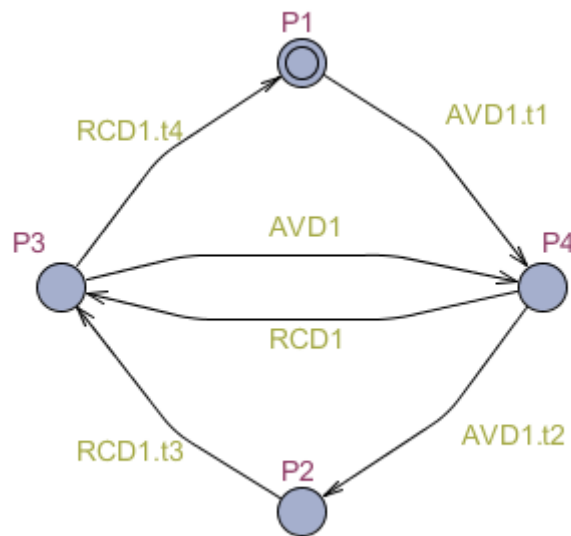


Figura 50- Modelo de Processo de um cilindro de duplo efeito

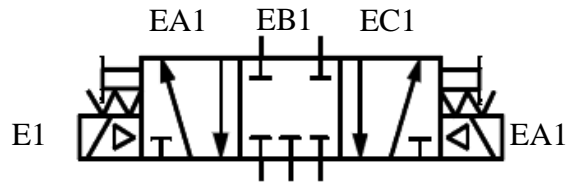
#### 5.2.2.2. Elementos eletropneumáticos/eletro-hidráulicos

Os elementos eletropneumáticos e eletro-hidráulicos, resumidamente, são componentes hidráulicos ou pneumáticos acionados por sinais elétricos. O componente mais importante utilizado em sistemas automatizados, dos tipos referidos, são as electroválvulas.

##### Electroválvulas direccionais

Existe vários tipos de electroválvulas direccionais, para exemplificar a sua modelação recorreremos a uma electroválvula direcional biestável 5/2.

A electroválvula direcional está representada na Figura 51.

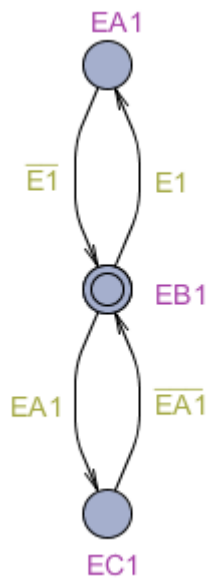


**Figura 51- Representação simbólica da uma electroválvula direcional de 5/2 vias normalmente fechada**

A electroválvula tem dois elementos de acionamento elétricos: “E1” e “EA1”. Esse acionamento irá definir o estado da válvula, constituído por três estados (“EA1”, “EB1” e “EC1”).

A válvula possui três estados. Quando o elemento “E1” é ativado, o estado “EA1” ativar-se-á. Se “EA1” for ativado, o estado “EC1” ativar-se-á. No caso, de nenhum dos elementos estar ativo (“E1” e “EA1”), ativar-se-á o estado “EB1”.

A modelação da electroválvula, normalmente fechada, está representada na Figura 52.



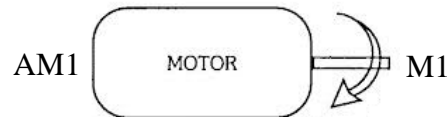
**Figura 52- Modelo de Processo da electroválvula direcional 5/2 vias, normalmente fechada**

### 5.2.2.3. Elementos elétricos

Os elementos tratados neste trabalho restringir-se-ão aos motores elétricos, unidades de manipulação, sensores de proximidade e chaves fim de curso.

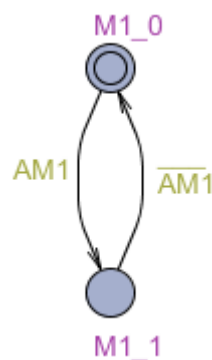
## Motores elétricos

Um Motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em mecânica, cuja representação está nas Figuras 53.



**Figura 53- Representação simbólica de um motor elétrico**

Para que o motor seja ligado (M1), a entrada AM1 necessita de ser ativada. A modelação do processo está representada na Figura 54.



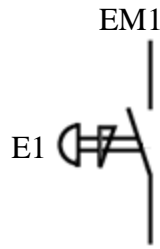
**Figura 54- Modelo de Processo de um motor elétrico**

## Unidades de manipulação

O utilizador pode interagir com o sistema automático através de vários componentes:

- Manipuladores;
- Comutadores de cames;
- Botoneiras;
- Teclados;
- Interruptores de pedal;

Apenas modelaremos as botoneiras, pelo facto de serem os manipuladores mais comuns, representada na Figura 55.



**Figura 55- Representação simbólica de um botão de emergência**

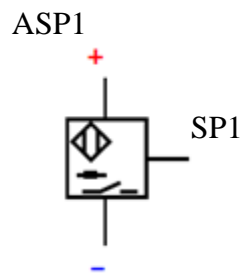
Para que botoneira seja ativada (EM1), o botão E1 necessita de ser pressionado. A modelação do processo está representada na Figura 56.



**Figura 56- Modelo de Processo de um botão de emergência**

### Sensores de proximidade

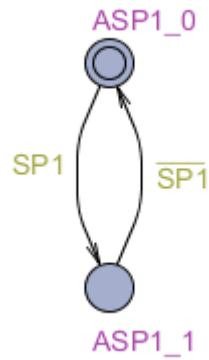
Os sensores detetam quando determinado elemento esta próximo. O tipo de sensor modelado, será o sensor de proximidade indutivo (Figura 57).



**Figura 57- Representação simbólica de um sensor de proximidade**

A presença de determinado elemento próximo do sensor, representada por SP1, ativa o sensor, fazendo com que o mesmo emita a ordem ASP1. A modelação do processo está representada na Figura 58.

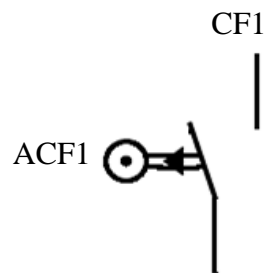




**Figura 58- Modelo de Processo de um sensor de proximidade**

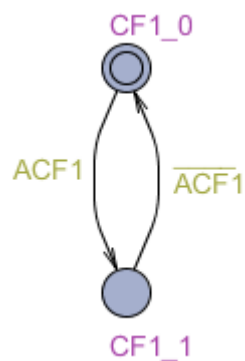
### Chave Fim de Curso

Este dispositivo, representado na Figura 59, indica a presença de um elemento, através do contacto com o mesmo.



**Figura 59- Representação simbólica de um sensor chave fim de curso [17]**

Para que o sensor seja ativado (CF1), o contacto ACF1 necessita de ser acionado. A modelação do processo está representada na Figura 60.



**Figura 60- Modelo de processo de um sensor chave fim de curso**

#### 5.2.2.4. Elementos de ligação

Para que a modelação esteja completa, necessitamos de modelar os elementos de ligação. Os elementos de ligação transmitirão informação entre componentes, para que o sistema funcione corretamente.

Basicamente, os elementos de ligação mais utilizados são os tubos pneumáticos.

A modelação destes componentes é mais complexa de elaborar, pelo facto de variar em função dos elementos conectados. Assim, será modelado um tudo de ligação, a título exemplificativo, entre uma válvula direcional de 2/3 vias normalmente fechada, ativada por um rolete mecânico e um cilindro de simples efeito.

O tudo de ligação ligará a válvula direcional ao cilindro. Como foi referido, a válvula em causa, possui dois estados, assim, dependendo do estado da mesma, uma ordem será dada ao cilindro.

A modelação do tubo de ligação está representada na Figura 61.

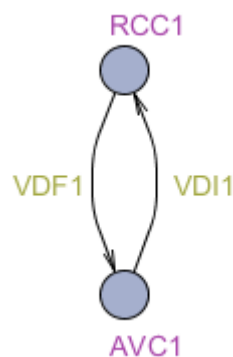


Figura 61- Modelação de processo do tubo de ligação entre o compressor e a válvula direcional

#### 5.2.2.5. Elementos de contacto

Dentro de um sistema automático, o estado de um elemento pode ser modificado por outro elemento. Essas interações podem ser de vários tipos.

A título exemplificativo, podemos referir a interação existente entre um cilindro e uma chave fim de curso. A chave verifica a posição do cilindro, através do contacto entre os dois elementos. Quando o estado "REC1" está ativo significa que o cilindro está a recuar, e definido o tempo que o cilindro necessita para voltar à posição inicial, a posição do cilindro

pode ser identificada pela chave fim de curso. Se o estado “REC1” estiver ligado um determinado período, ativará o estado do sensor dado por “ACF1”.

### **5.2.3. Conversão da linguagem formal para a linguagem *ladder***

O formalismo autómatos finitos temporizado foi utilizado para modelar os componentes pertencentes à parte operativa dos sistemas automatizados e a sua conversão para a linguagem Ladder foi feita de acordo com a metodologia proposta em [29].

## **5.3. AMBIENTE DE SIMULAÇÃO**

Neste subcapítulo são descritos os softwares que foram usados para o desenvolvimento das simulações.

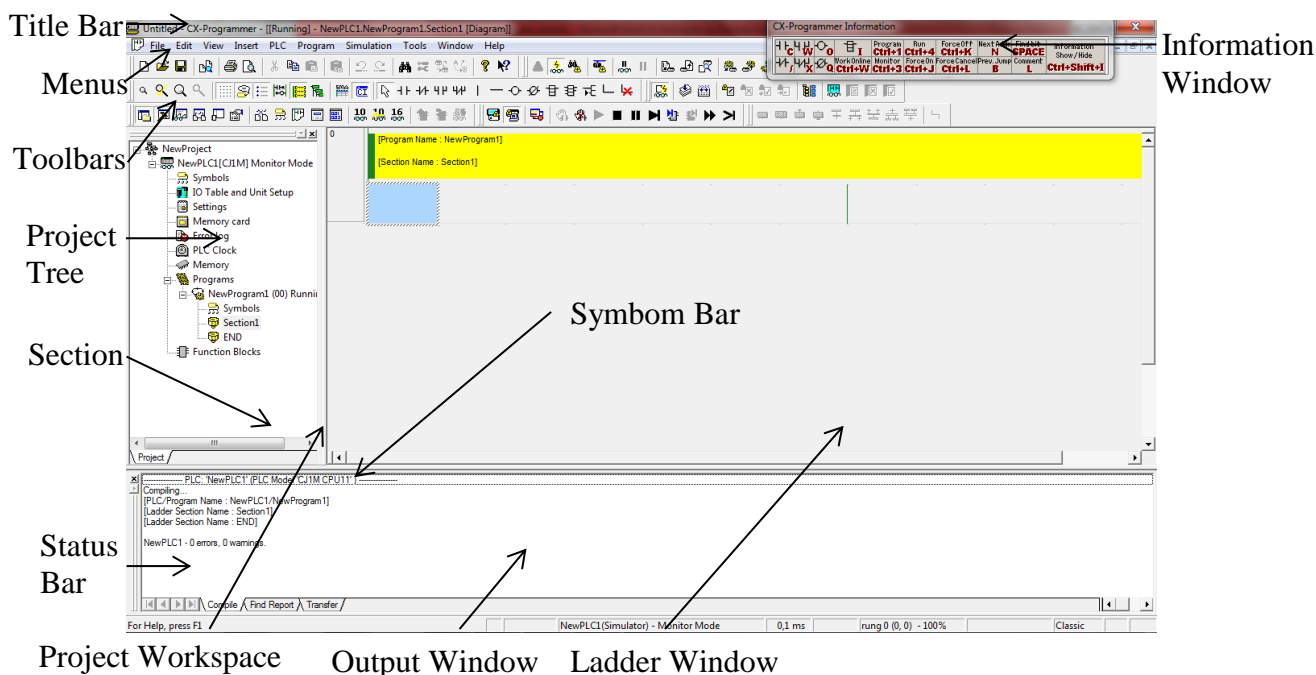
As simulações serão elaboradas através do Software Cx-One (Cx-Programmer, Cx-Simulator, Cx-Designer), como foi referido anteriormente.

### **5.3.1. Cx-Programmer**

O software usado para implementar a aplicação de aquisição de dados nos PLCs (reais e virtuais), como será explicado posteriormente, da OMRON foi o CX-Programmer.

O CX-Programmer é uma ferramenta desenvolvida pela OMRON que permite programar, e configurar toda a gama de PLCs da OMRON, sejam modelos recentes ou mais antigos.

Na Figura 62 é apresentada a janela principal do CX-Programmer, mostrando as principais características.



**Figura 62- CX-Programmer – Janela Principal [34]**

O CX-Programmer, está totalmente integrado no pacote de software CX-One distribuído pela própria OMRON, tendo total apoio à programação de blocos de funções standard programadas em texto estruturado ou na linguagem *ladder* convencional.

Os blocos de funções usam uma linguagem de programação semelhante ao basic, facilitando tarefas de processamento numérico ou comparações lógicas complexas, necessitando apenas de algumas linhas de código, que podem ser feitas em poucos minutos.

O CX-Programmer torna o desenvolvimento de programas PLC em linguagem ladder numa simples configuração de arrastar e largar "Drag & Drop".

Este programa enquadra-se no desenvolvimento das simulações SIL, e também HIL. O ficheiro, representará a memória do controlador logico programável.

### 5.3.2. Cx-Simulator

É possível obter um ambiente de depuração equivalente ao ambiente do sistema PLC real através da simulação do funcionamento de um PLC da série CS/CJ com um PLC virtual no computador.

Permite a depuração do programa num único PLC antes da montagem do sistema real. Reduz o tempo inicial total necessário para o arranque e desenvolvimento da máquina/equipamento.

- Integrado em CX-One, pacote de software universal da Omron
- É possível utilizar todas as funções de depuração disponíveis no CX-Programmer
- É possível verificar o tempo de ciclo sem o sistema PLC real
- Executar operações de depuração eficazes que não possam ser executadas no PLC real, como, por exemplo, executar passos e ciclos individuais e inserir interrupções
- É possível utilizar vários métodos que permitem criar e reproduzir entradas externas virtual

Assim, a execução do programa, presente no Cx-Programmer, será feita por este programa.

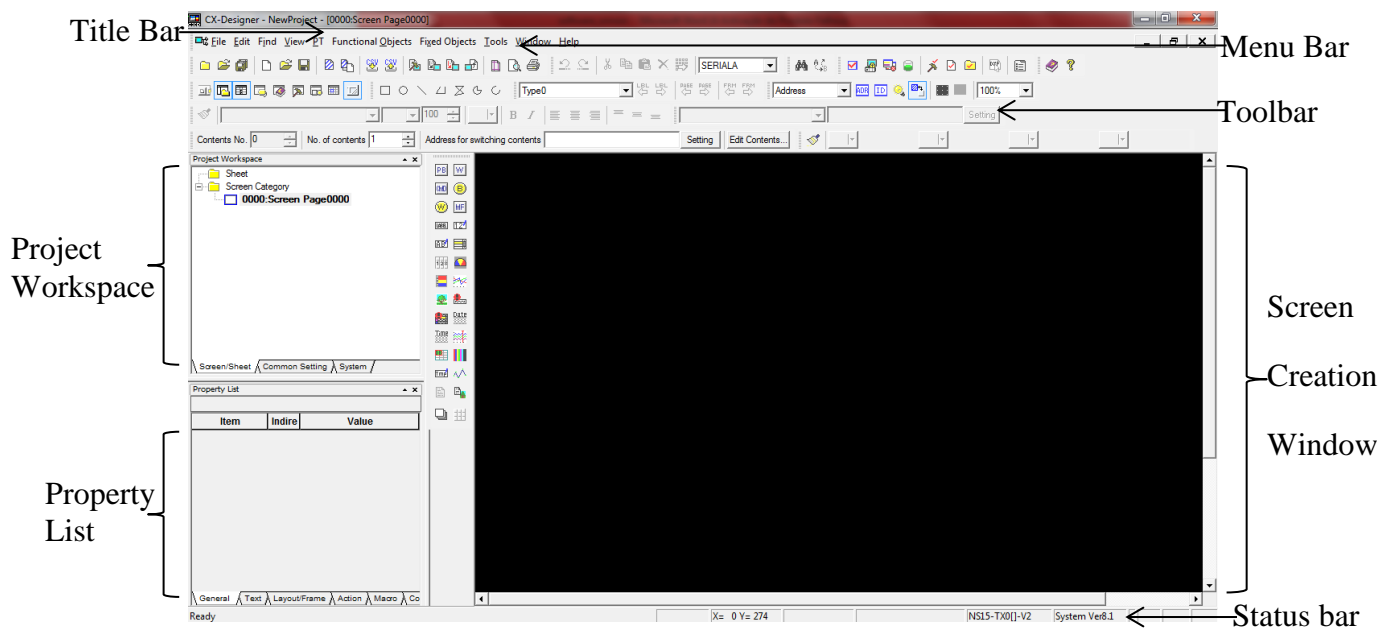
### **5.3.3. Cx-Designer**

O CX-Designer é utilizado para criar dados de ecrã para terminais programáveis da série NS. Este também pode verificar a operação dos dados de ecrã criados no computador.

O CX-Designer permite um processo de desenvolvimento para a criação, simulação e lançamento de projetos de ecrã. Os utilizadores podem desenvolver ecrãs de modo mais eficiente com o software de suporte fácil de utilizar.

Este software possui cerca de 1000 objetos funcionais padrão com os gráficos e funções avançadas associados, por isso, mesmo utilizadores inexperientes podem criar facilmente ecrãs, apenas ao dispor objetos funcionais num ecrã.

Na Figura 64 é apresentada a janela principal do CX-Designer, mostrando as principais características.



**Figura 63- CX-Designer – Janela Principal [36]**

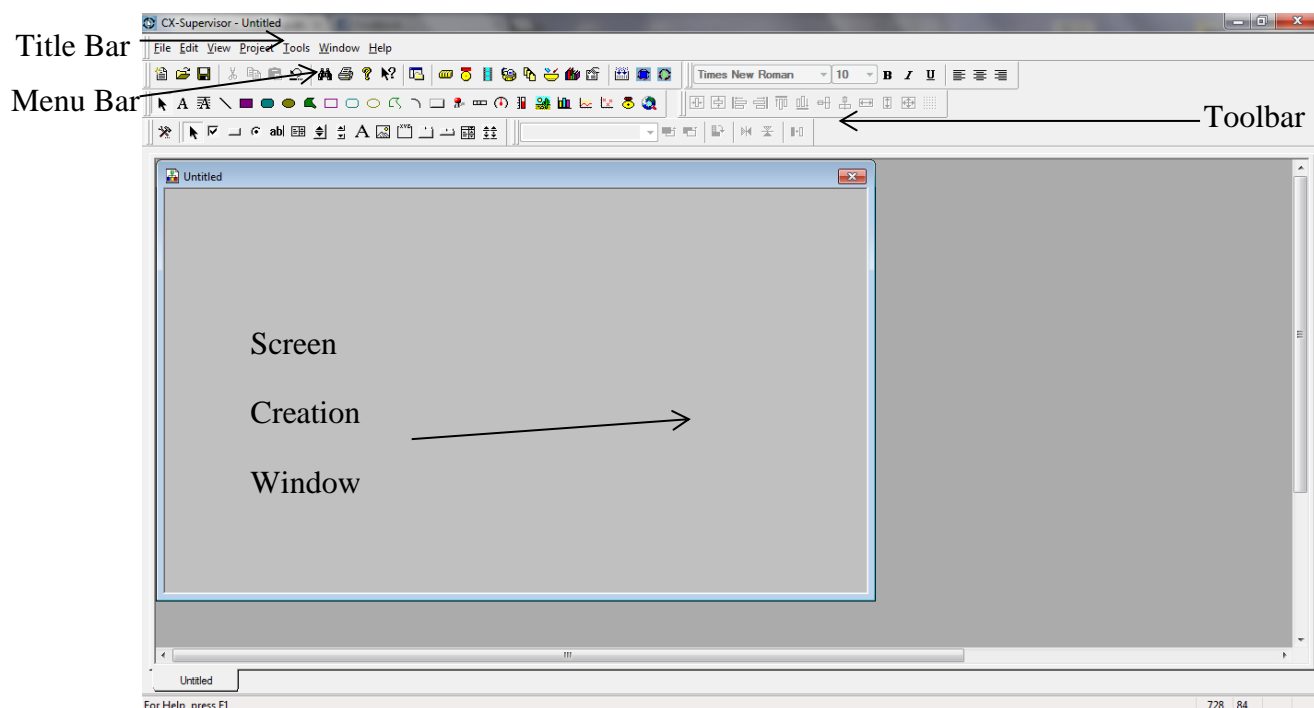
Basicamente, este sistema substitui as consolas utilizadas nos sistemas automatizados, assim, o estado do sistema pode ser analisado.

Este software será utilizado no desenvolvimento das simulações SIL, visto que o mesmo consegue interagir com PLCs virtuais.

### 5.3.4. Cx-Supervisor

O CX-Supervisor destina-se à conceção e à operação da visualização de PC e do controlo de máquinas. Para além de ser fácil de utilizar em pequenas tarefas de supervisão e controlo, ele também oferece uma vasta capacidade para a conceção das aplicações mais sofisticadas.

O CX-Supervisor melhora funções potentes para uma ampla gama de requisitos HMI baseados no PC. Podem ser criadas rapidamente aplicações simples com a ajuda de um grande número de funções e bibliotecas predefinidas e mesmo as aplicações muito complexas podem ser geradas com uma linguagem de programação potente ou VBScript™. O CX-Supervisor tem um manuseamento extremamente simples e intuitivo e uma elevada facilidade de utilização. A importação de componentes ActiveX® possibilita a criação de aplicações flexíveis e funcionalidade alargada.



**Figura 64- CX-Supervisor – Janela Principal [43]**

Neste trabalho, não especificamos as simulações HIL, mas, a única diferença para as SIL, é a utilização do Cx-Supervisor ao invés do Cx-Designer.

Este software será utilizado no desenvolvimento das simulações HIL, visto ter a capacidade de interagir com PLCs reais.

## **5.4. ASPETOS SALIENTADOS DO CAPÍTULO 5**

Estão definidas regras sistemáticas para a modelação de qualquer sistema automatizado, nomeadamente do seu controlador e da sua parte física. Depois de modelado, qualquer tipo de sistema, pode ser obtido diretamente o programa em linguagem Ladder, através de regras de conversão dos modelos num conjunto de equações que podem ser implementadas seguindo regras pré-definidas.

Neste capítulo estão definidas as metodologias que a modelação de sistemas automatizados feita nesta dissertação utiliza. Juntamente com a modelação dos principais elementos constituintes da parte operativa de sistemas automatizados. A ligação destas modelações, dependendo da constituição dos sistemas automatizados simulados, torna a simulação dos sistemas possível.

Já, a modelação da parte de comando, é feita em função da sequência de acontecimentos que o sistema terá que cumprir (problema), como de um PLC (ou outro controlador) se trata-se, bastando para isso transferir para o respetivo PLC o programa referente ao problema (linguagem de programação ladder).

No próximo capítulo, é ilustrada esta abordagem na modelação de dois sistemas automatizados completos (casos de estudo).



# CAPÍTULO 6

## CASO DE ESTUDO

*Neste capítulo utiliza-se a metodologia descrita no capítulo anterior para simular dois sistemas automatizados (casos de estudo).*

*É de referir que a simulação da parte de comando de cada sistema automatizado utiliza um problema exemplificativo, ou seja, o funcionamento desta simulação é idêntico à parte de comando dos sistemas reais. Assim, se o problema for alterado, e a metodologia descrita for elaborada da mesma forma, a simulação será executada.*

*Já a parte operativa é elaborada em função dos elementos que o sistema automatizado possui.*

*A ligação destas duas modelações (parte comando e operativa) origina a simulação dos sistemas automatizados.*



## 6. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo pretende-se utilizar a ‘‘base de dados’’ criada no capítulo 5 para modelar dois casos de estudo.

Serão modelados dois sistemas automatizados. O primeiro corresponde a uma bancada pneumática/electropneumática. Também será modelado um sistema utilizado no ensino da disciplina de Automação II, da UMinho (Departamento de Engenharia Mecânica) designado Sistema de carga/descarga.

A modelação da parte de comando será elaborada em função de um problema exemplificativo.

### 6.1. BANCADA PNEUMÁTICA/ELECTROPNEUMÁTICA

A bancada pneumática/electropneumática é composta por conjuntos de dispositivos pneumáticos, eletropneumáticos e dispositivos elétricos.

Resumidamente, a bancada ativará/desativará um determinado número válvulas que controlam vários cilindros. É através do controlo das mesmas que o ensino de conceitos de controlo de sistemas é executado. Para esta bancada foram escolhidos cilindros de simples efeito, controlados por eletroválvulas direcionais 3/2 biestáveis.

Esta bancada é constituída por vários elementos:

- Eletroválvula direcional 3/2 vias, biestável (3 unidades)
- Cilindro de simples efeito (3 unidades)
- Sensor fim de curso (6 unidades)
- Botão de início ‘‘Start’’ (1 unidade)
- Botão de paragem ‘‘Stop’’ (1 unidade)

A lista de pontos referente à bancada em estudo está representada na Tabela 6.

**Tabela 6- Lista de pontos referente à bancada pneumática/electropneumática**

Função	Ponto	DI (Digital Input)	DO (Digital Output)	AI (Analogic Input)	AO (Analogic Output)
Iniciação do sistema	start	1			
Paragem do sistema	stop	1			
Sensor fim de curso (cilindro 1- posição inicial)	a0_B1	1			
Sensor fim de curso (cilindro 1- posição final)	a1_B1	1			
Sensor fim de curso (cilindro 2- posição inicial)	a0_B2	1			
Sensor fim de curso (cilindro 2- posição final)	a1_B2	1			
Sensor fim de curso (cilindro 2- posição inicial)	a0_B3	1			
Sensor fim de curso (cilindro 3- posição final)	a1_B3	1			
Avanço do cilindro A	A1		1		
Recuo do cilindro A	A2		1		
Avanço do cilindro B	B1		1		
Recuo do cilindro B	B2		1		
Avanço do cilindro C	C1		1		
Recuo do cilindro C	C2		1		

A simulação da bancada consiste na junção da modelização individual de cada elemento e das respetivas interações elaborada no capítulo 5.

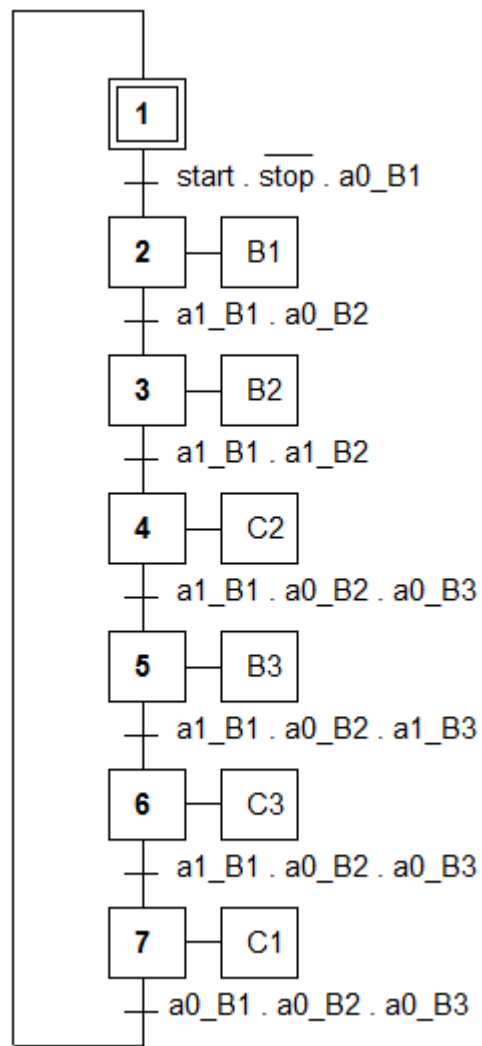
### 6.1.1. Modelo do controlador

Para este sistema, será modelada a parte de comando em função do seguinte problema:

- Pretende-se que o sistema realize o seguinte ciclo pneumático: A+/B+/B-/C+/C-/A-

#### SFC [IEC 60848]

O problema é solucionado através do SFC, apresentado na Figura 65.



**Figura 65- Representação da modelação da parte de comando da bancada pneumática/electropneumática**

## Conversão em equações de comando

Em função do SFC elaborado para o problema proposto (Figura 65), converte-se na linguagem de programação *ladder*.

As condições de transposição das transições, que ( $X_i$  representa a atividade da etapa  $i$ ) são:

- $CT(i) := /X1 . /X2 . /X3 . /X4 . /X5 . /X6 . /X7$
- $CT(1) := X1 . start . stop . a0\_B1$
- ...
- $CT(7) := X7 . a0\_B1 . a0\_B3 . a0\_B2$

Em seguida, elabora-se a atividade das etapas:

- $X1 := CTi + CT1 + X1 . /CT(1)$
- ...
- $X7 := CT6 + X7 . /CT(7)$

Para finalizar, elabora-se os pontos que cada etapa ativa/desativa:

- $B1 := X2$
- ...
- $C1 := X7$

### 6.1.2. Modelação do processo

#### 6.1.2.1. Autómatos finitos temporizados

Numa primeira fase apresenta-se a modelação de cada elementos utilizando o formalismo autómatos finitos temporizados. Utiliza-se a base de dados elaborada no capítulo 5, referente á modelação dos elementos pertencentes à parte operativa de sistemas automatizados.

### Válvula direcional 3/2 vias biestável

As válvulas direcionais são ativadas por um sinal elétrico, proveniente do controlador. Dependendo do seu estado, os cilindros irão avançar ou recuar (utilizando tubos pneumáticos).

No capítulo 5 foi modelada uma válvula direcional de 3/2 vias normalmente fechada, ativada por um rolete mecânico. Mas, o princípio de modelação de uma eletroválvula direcional 3/2 vias biestável é semelhante à modelação da válvula monoestável, com a diferença de substituir a atuação do rolete “AC1” por uma atuação elétrica “EV1” e a atuação da mola “ $\overline{AC1}$ ” pela atuação elétrica “E1”.

A modelação referente às válvulas está representada na Figura 66. É de referir que o sistema é constituído por 3 eletroválvulas, logo, modaliza-se as respetivas 3 eletroválvulas.

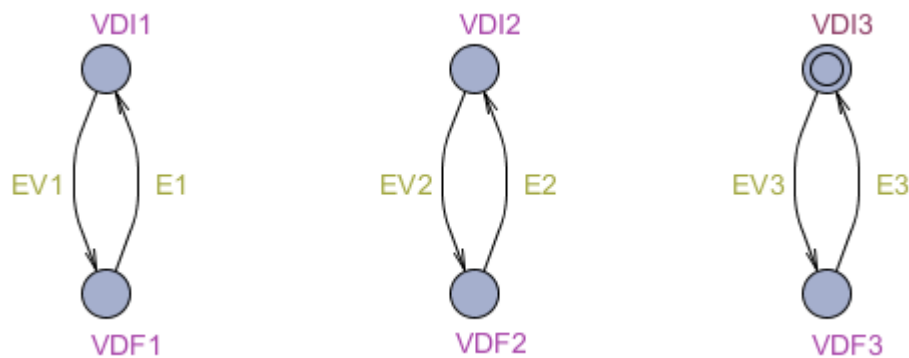
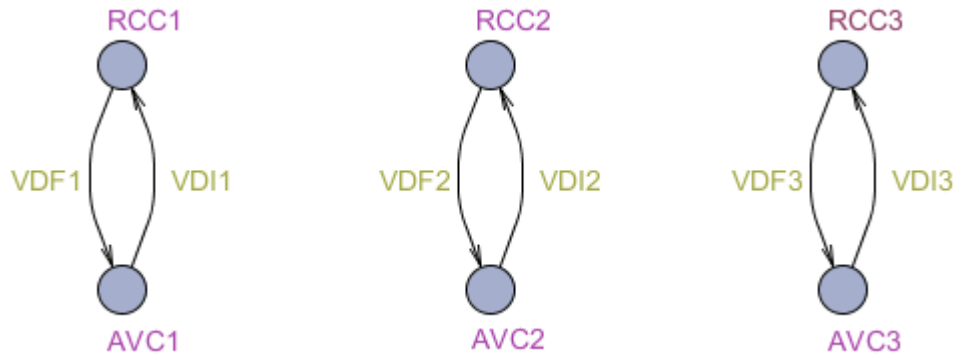


Figura 66- Modelo de Processo das eletroválvulas 3/2 vias normalmente fechada (unidade 1,2 e 3)

### Ligação válvulas direcionais-cilindros

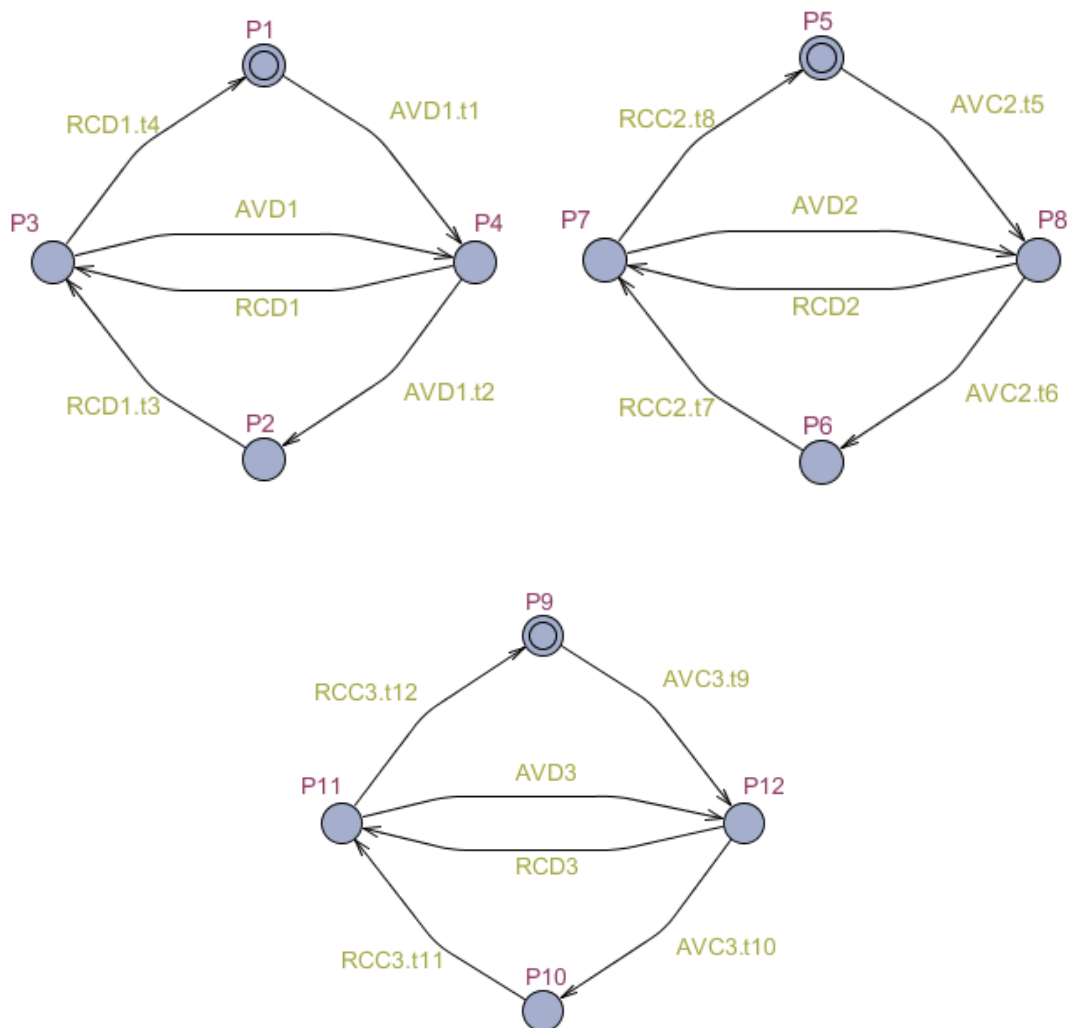
Os cilindros são controlados diretamente pelas válvulas direcionais, assim, o estado dos cilindros está dependente das válvulas direcionais. É de referir que a ligação entre as válvulas e os cilindros é executada através de 3 tubos pneumáticos. A modelação da ligação entre os dois elementos está representada na Figura 67.



**Figura 67- Modelo do processo das ligações válvulas direcionais-cilindros**

### Cilindros de simples efeito

Dependendo do estado das válvulas, os cilindros irão avançar ou recuar. A modelação está presente na Figura 68.



**Figura 68- Modelo de Processo dos cilindros de simples efeito (unidade 1, 2 e 3)**



## Sensores chave fim de curso

Os sensores controlarão o estado dos cilindros. A sua modelação está representada na Figura 69.

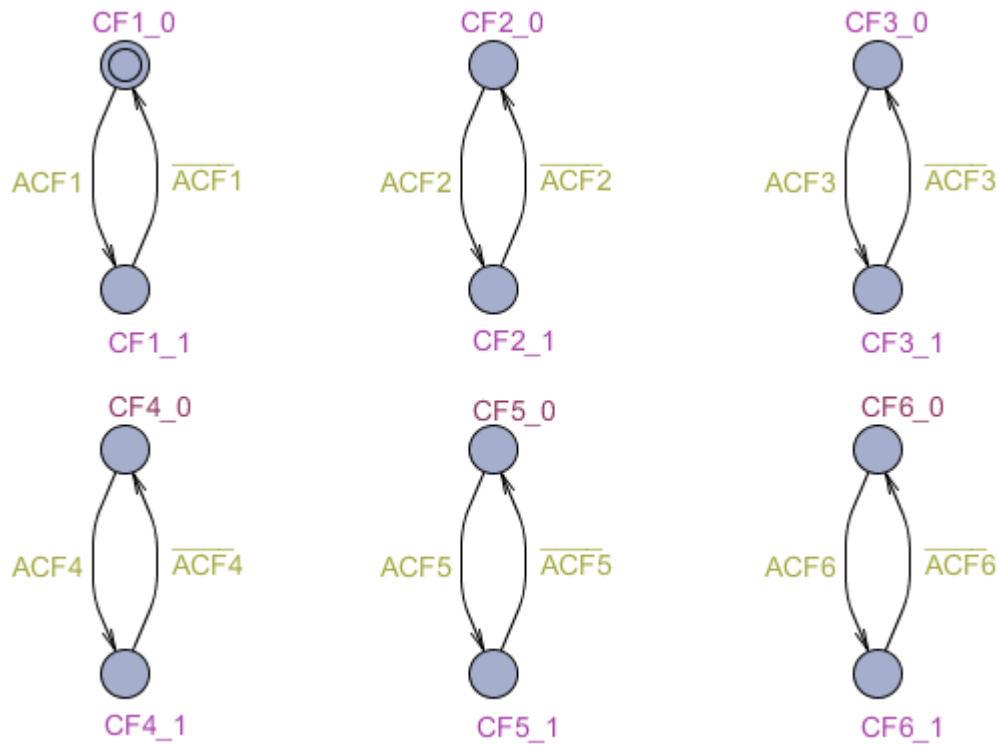
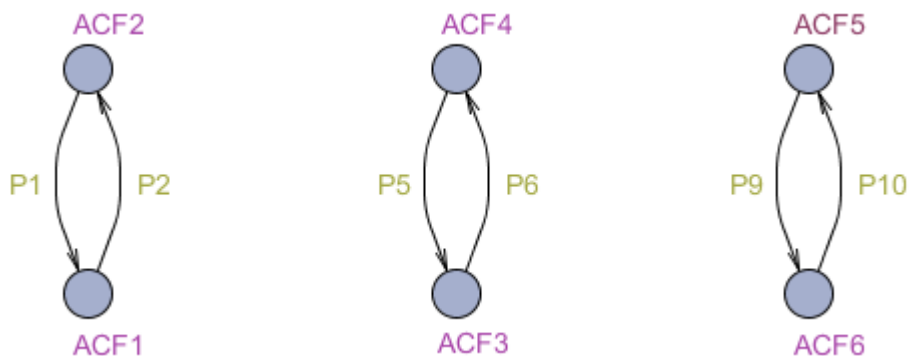


Figura 69- Modelo de processo dos sensores fim de curso (unidade 1,2,3,4,5 e 6)

## Interação cilindro-sensor chave fim de curso

A interação entre os cilindros e os sensores verifica-se através de um contacto proveniente dos cilindros, que ativa/desativa os sensores. A sua modelação está representada na Figura 70.

É referir, que a modelação dos sensores, tem que contemplar o tempo que o cilindro necessita para avançar do ponto inicial até ao final, e vice-versa. Se o cilindro estiver um certo tempo a avançar, e ultrapassar o tempo necessário à mudança de posição, o sensor é ativado.



**Figura 70- Modelo do processo das interações cilindro-sensor fim de curso**

A modelação formal do sistema está elaborada, mas, como foi referido, para que o sistema possa ser simulado necessitamos de convertê-la para uma linguagem de programação (*ladder*).

#### **6.1.2.2. Conversão em equações de comando**

O formalismo autómatos finitos foi utilizado para modelar os componentes pertencentes à parte operativa dos sistemas automatizados. A sua conversão para a linguagem Ladder foi feita segundo [29].

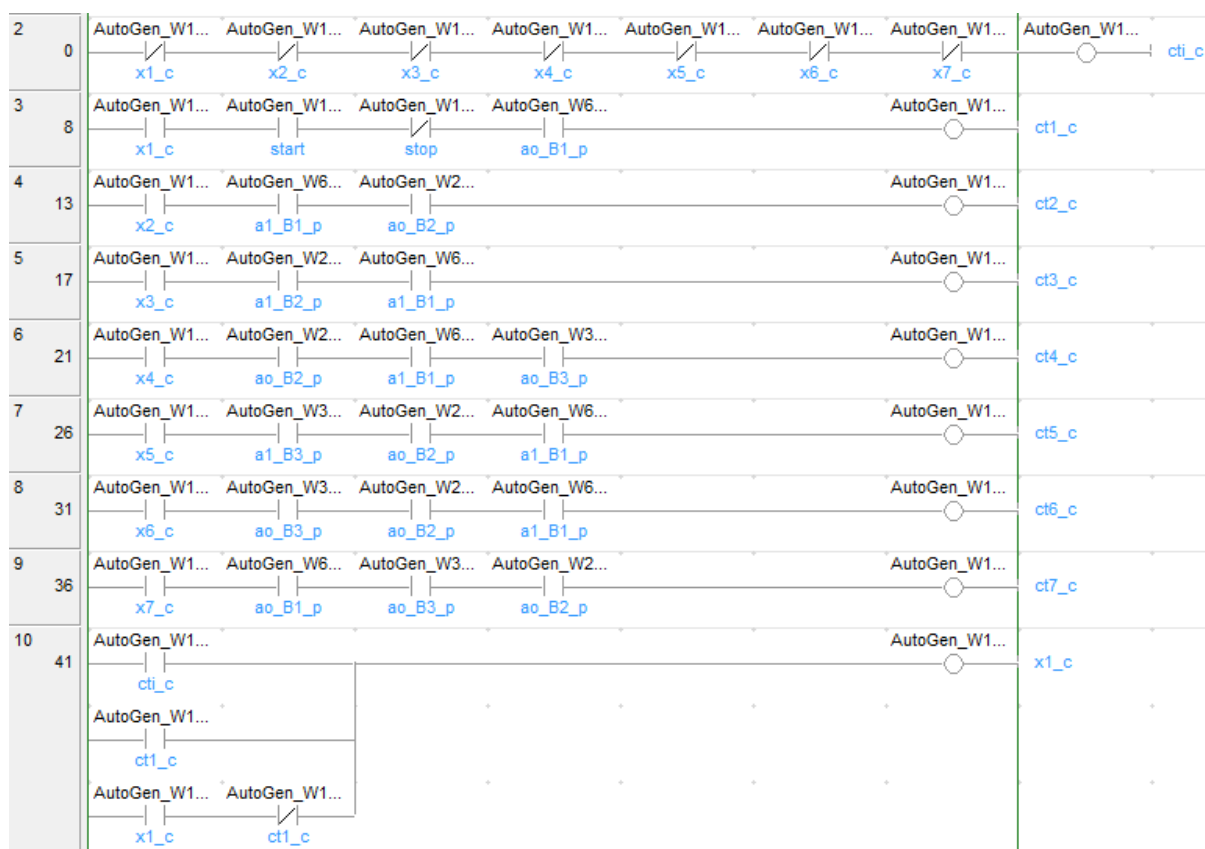
#### **6.1.3. Ambiente de simulação**

Finalizada a modelação da parte operativa e de comando através equações de comando, estas terão que ser simuladas através de um software (CX-One).

##### **6.1.3.1. Parte de Comando**

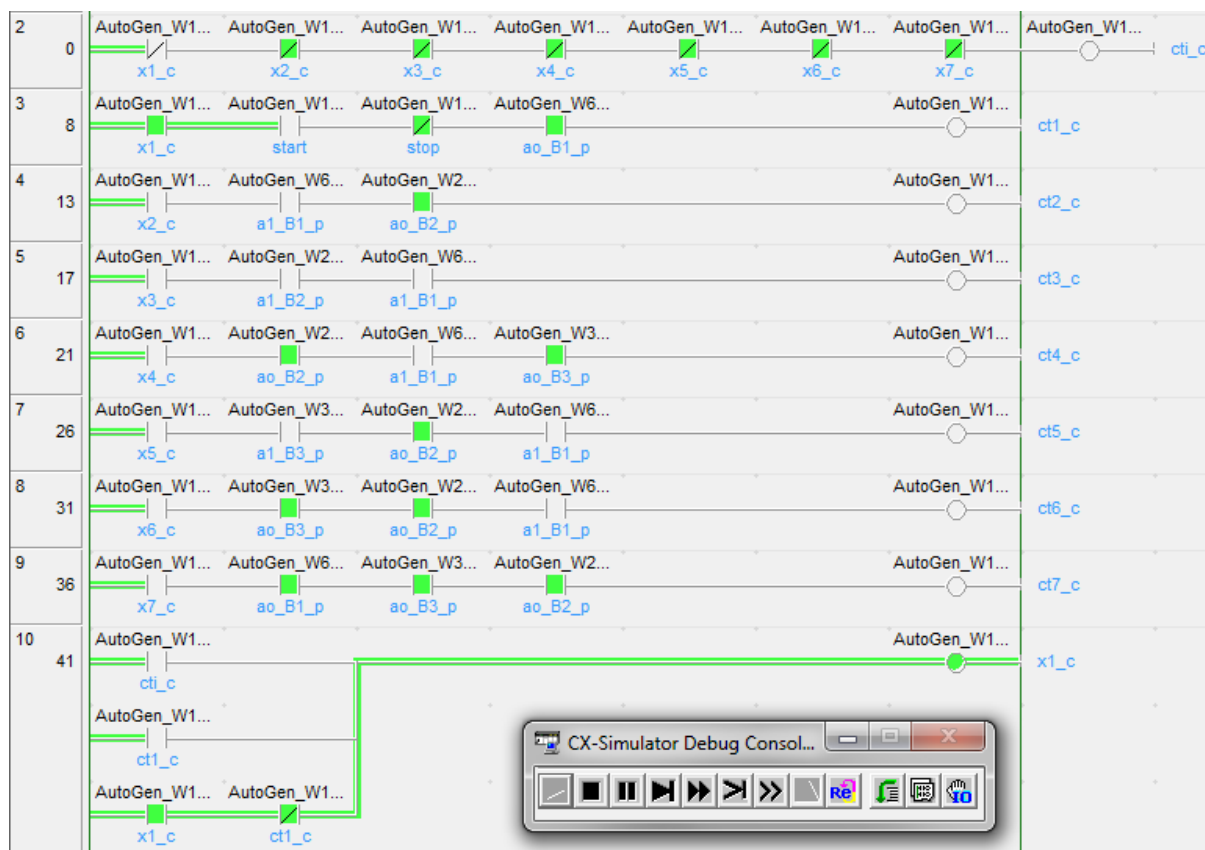
A modelação da parte de comando do sistema automatizado será simulada com o auxílio do Cx-Programmer, ou seja, as equações de comando elaboradas na linguagem de programação *ladder* serão transpostas para o software Cx-Programmer.

A modelação está representada na Figura 71. A modelação representada na respetiva figura não está completa, apenas é referida uma parte da respetiva modelação por uma questão de espaço.



**Figura 71- Representação parcial da modelação da parte de comando da bancada pneumática / electropneumática utilizando o CX-Programmer**

A memória do PLC é simulada através desta modelação, mas para que o comando possa ser executado, é necessário de processar as ordens. Para isso usa-se o Cx-Simulator (Figura 72).

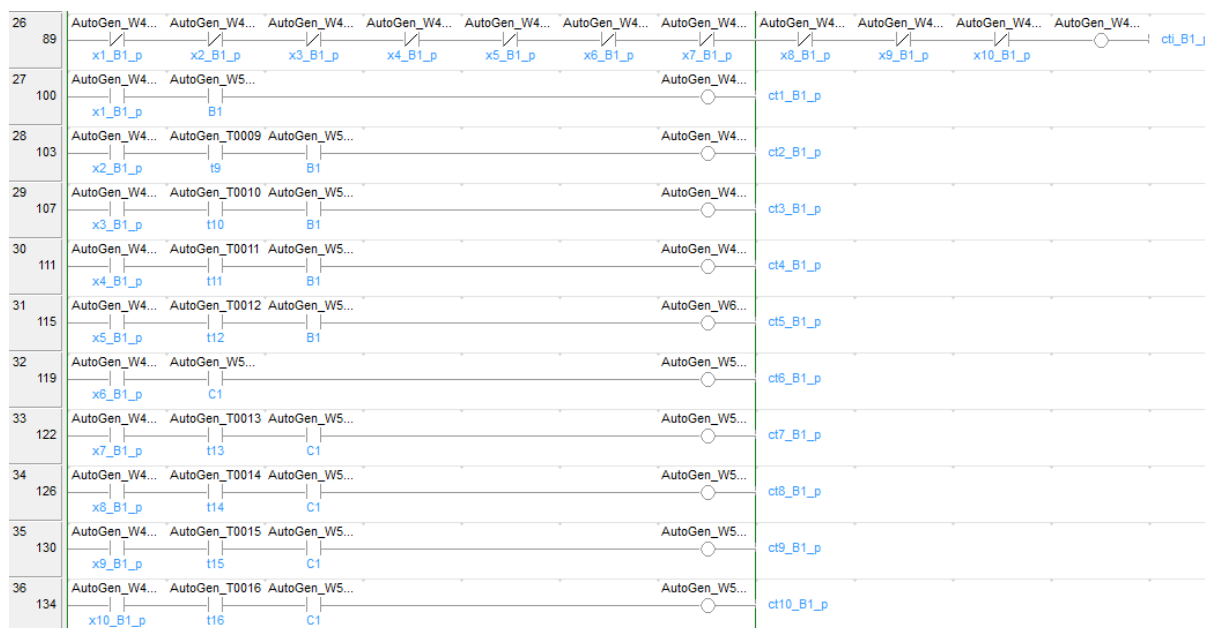


**Figura 72- Representação modelação da parte de comando da bancada pneumática / electropneumática utilizando o CX-Simulator**

### 6.1.3.2. Parte Operativa

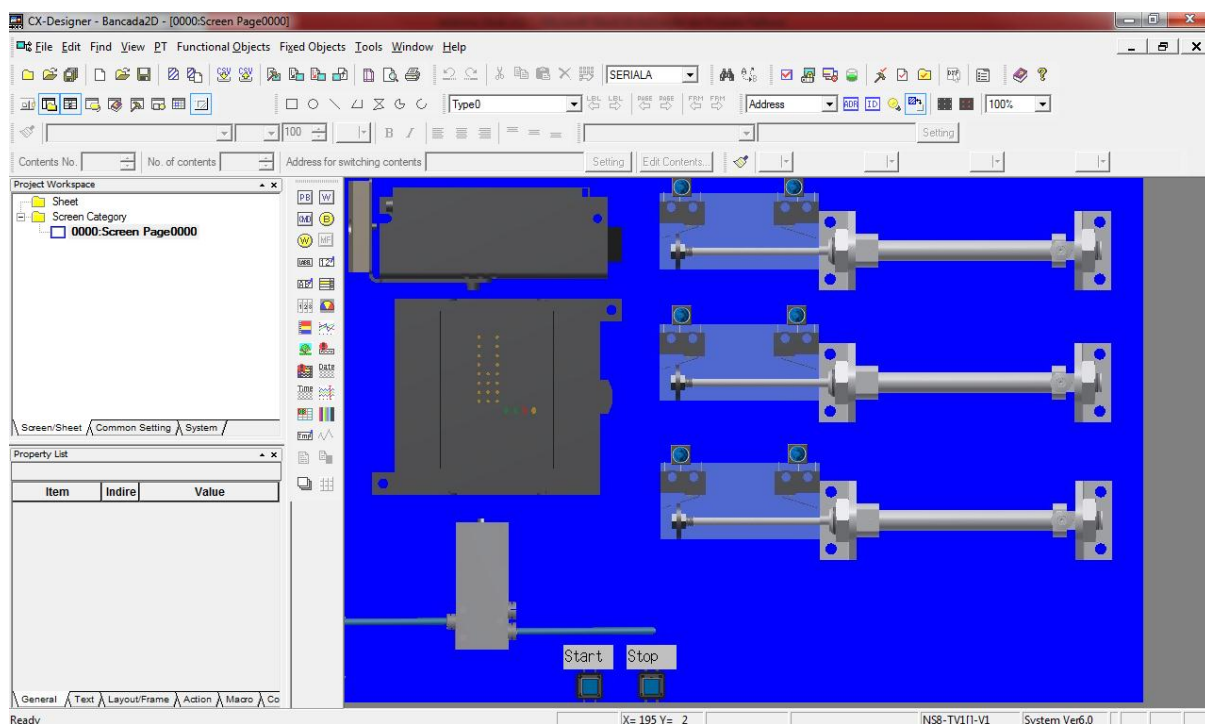
A modelação da parte operativa do sistema automatizado temblem será simulada com o auxílio do Cx-Programmer, ou seja, as equações de comando elaboradas na linguagem de programação *ladder* serão transpostas para o software Cx-Programmer.

A modelação está representada na Figura 73. A modelação representada na respetiva figura não está completa, apenas é referida uma parte da respetiva modelação por uma questão de espaço.



**Figura 73- Representação parcial da modelação da parte operativa da bancada pneumática / electropneumática utilizando o CX-Programmer**

Para finalizar, a modelação do sistema automatizado deve ser simulada com o auxílio de um software de criação de dados, para que o desenvolvimento de sistema seja visível através de imagens. Utilizou-se o CX-Designer para o cumprimento dessa função (Figura 74).



**Figura 74- Representação da modelação da bancada pneumática / eletropneumática utilizando o CX-Designer**

#### **6.1.4. Adaptação das simulações ao ensino da automação**

O ensino da automação é elaborado através do controlo de sistemas automatizados. Logo, as simulações virtuais elaborados podem ser utilizadas para esse fim. O utilizador, terá que elaborar o comando do sistema, com base no problema e sistema específico e seguir as determinadas especificações. No anexo B são apresentados os passo necessários à adaptação das simulações ao ensino da automação.

A modelação da parte operativa está elaborada na linguagem *ladder*, no software Cx-Supervisor. Assim, a modelação do controlador terá que utilizar os mesmos endereços, dos utilizados na modelação da parte operativa, que são (Tabela 7).

**Tabela 7- Condições dos endereços utilizados na modelação da parte operativa**

<b>Descrição dos pontos</b>	<b>Endereço</b>
Sensor início de curso do cilindro 2 (a0_B2): W26.00	W26.00
Sensor início de curso do cilindro 1 (a0_B1)	W6.00
Sensor início de curso do cilindro 3 (a0_B3)	W36.00
Sensor fim de curso do cilindro 1 (a1_B1):	W6.04
Sensor fim de curso do cilindro 2 (a1_B2)	W26.04
Sensor fim de curso do cilindro 3 (a1_B3)	W36.04
Botão de acionamento (Start):	W101.00
Botão de paragem (Stop)	W101.01
Válvula solenoide (para que o cilindro seja ativado) A1	W5.00
Válvula solenoide (para que o cilindro seja ativado) A2	W25.00
Válvula solenoide (para que o cilindro seja ativado) A3	W35.00
Válvula solenoide (para que o cilindro seja desativado) B1	W5.01
Válvula solenoide (para que o cilindro seja desativado) B2	W25.01
Válvula solenoide (para que o cilindro seja desativado) B3	W35.01

## 6.2. SISTEMA DE CARGA/DESCARGA

Este sistema automatizado é utilizado como exemplo para o ensino da automação na disciplina de automação, no departamento de Engenharia Mecânica da UMinho.

O sistema representa um sistema automatizado responsável pelo transporte de peças de uma posição para outra, efetuado por dois carros.

Os dois carros transportam a peça entre os pontos ‘P1’-‘Px’ e ‘P2’-‘Px’. A posição dos carros é dada pelos sensores de proximidade (‘e1’, ‘e3’, ‘e5’, ‘e2’, ‘e4’, ‘e6’ e ‘e7’).

Os carros avançam/recuam em função das ordens fornecidas: ‘Rec1’ e ‘Av1’ para o carro 1, ‘Rec2’ e ‘Av2’ para o carro 2.

O sistema está representado na Figura 75.

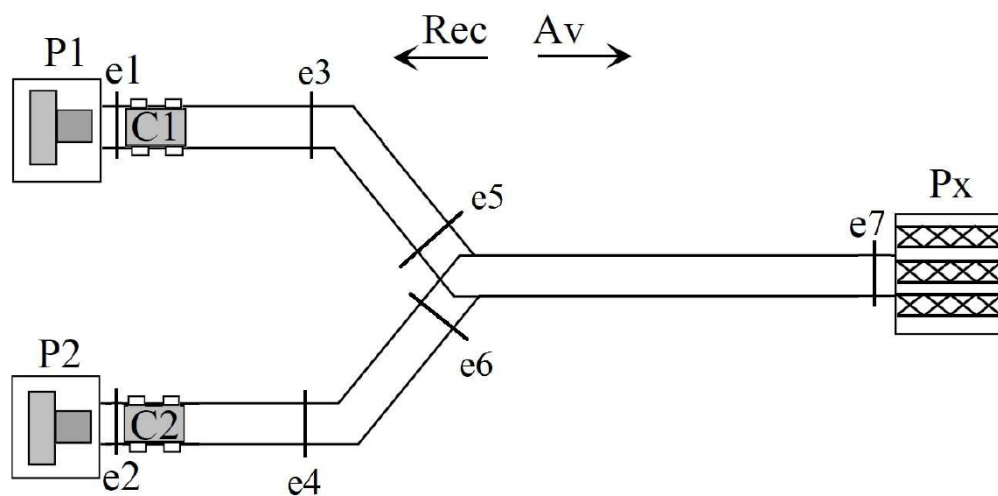


Figura 75- Representação do sistema simulado

A lista de pontos referente ao sistema está representada na Tabela 8.



**Tabela 8- lista de pontos referente ao sistema de carga/descarga de peças**

Controlador CPM1A-10CDR-A-V1					
Função	Ponto	DI (Digital Input)	DO (Digital Output)	AI (Analogic Input)	AO (Analogic Output)
Avanço do carro	Av1		1		
Recuo do carro	Rec1		1		
Sensor de contacto 1	e1	1			
Sensor de contacto 2	e2	1			
Sensor de contacto 3	e3	1			
Sensor de contacto 4	e4	1			
Sensor de contacto 5	e5	1			
Sensor de contacto 6	e6	1			
Sensor de contacto 7	e7	1			
Operação de carregamento1	fc1		1		
Operação de carregamento2	fc2		1		
Operação de descarregamento	fdx		1		
Início	start	1			
Paragem	stop	1			

### 6.2.1. Modelo do controlador

Para este sistema, iremos modelar a parte de comando em função do seguinte problema:

- Na Figura 76 está representado o sistema de transporte de materiais entre dois postos de trabalho P1 e P2 e um armazém Px.
- O carro C1 efetua o transporte de material entre o posto de fabrico P1 e o posto de entrada do armazém Px. O movimento deste carro é comandado pelos sinais Av1 e Rec1, respetivamente, para fazer avançar C1 no sentido de P1 para Px, e para fazer C1 recuar de Px para P1.
  - Uma vez no posto P1 (e1 atuado), aguarda a ativação do sinal fc1 que indica o fim da operação de carga neste posto. Logo que esteja carregado, deve deslocar-se no sentido do avanço;

- Uma vez chegado a Px (e7 atuado) aguarda o sinal fdx que indica a conclusão das operações de descarga em Px, após o que regressa a P1.
- De forma idêntica a C1, o carro C2, que transporta materiais entre P2 e Px, é comandado pelos sinais Av2 e Rec2, entre e2 e e7, sendo que a ativação do sinal fc2 indica o fim da operação de carga no posto P2 e a ativação do sinal fdx indica a conclusão das operações de descarga em Px.
- Na especificação do comando dos carros C1 e C2 deve ter ainda em conta o seguinte:
  - Se C1 estiver no troço e5-e7, o carro C2 não poderá estar no troço e6-e7 e vice-versa.
  - Por questões de segurança, os troços e3-e5 e e4-e6 não poderão ter carro em simultâneo, no sentido de avanço;
  - No caso dos sensores e3 e e4 serem atuados no mesmo instante, quando os carros vão no sentido do avanço, deve ser dada prioridade de passagem ao carro C1.
  - Considere dois botões, *start* e *stop*, para colocar o sistema a funcionar/parar. Na paragem, o sistema deve parar sempre na posição ilustrada na Figura 76.
  - Após períodos de 1500 ciclos, C2 deve parar para manutenção. Conte o número de cargas que faz o carro C2.
  - Considera-se como posição inicial a que está ilustrada na figura;
  - Considere que pretende fazer o máximo de ciclos possível por dia.
  - Considere que sensores e botoneiras são normalmente abertos.

### 6.2.1.1. SFC [IEC 60949]

O problema é solucionado através do SFC, apresentado na Figura 76.

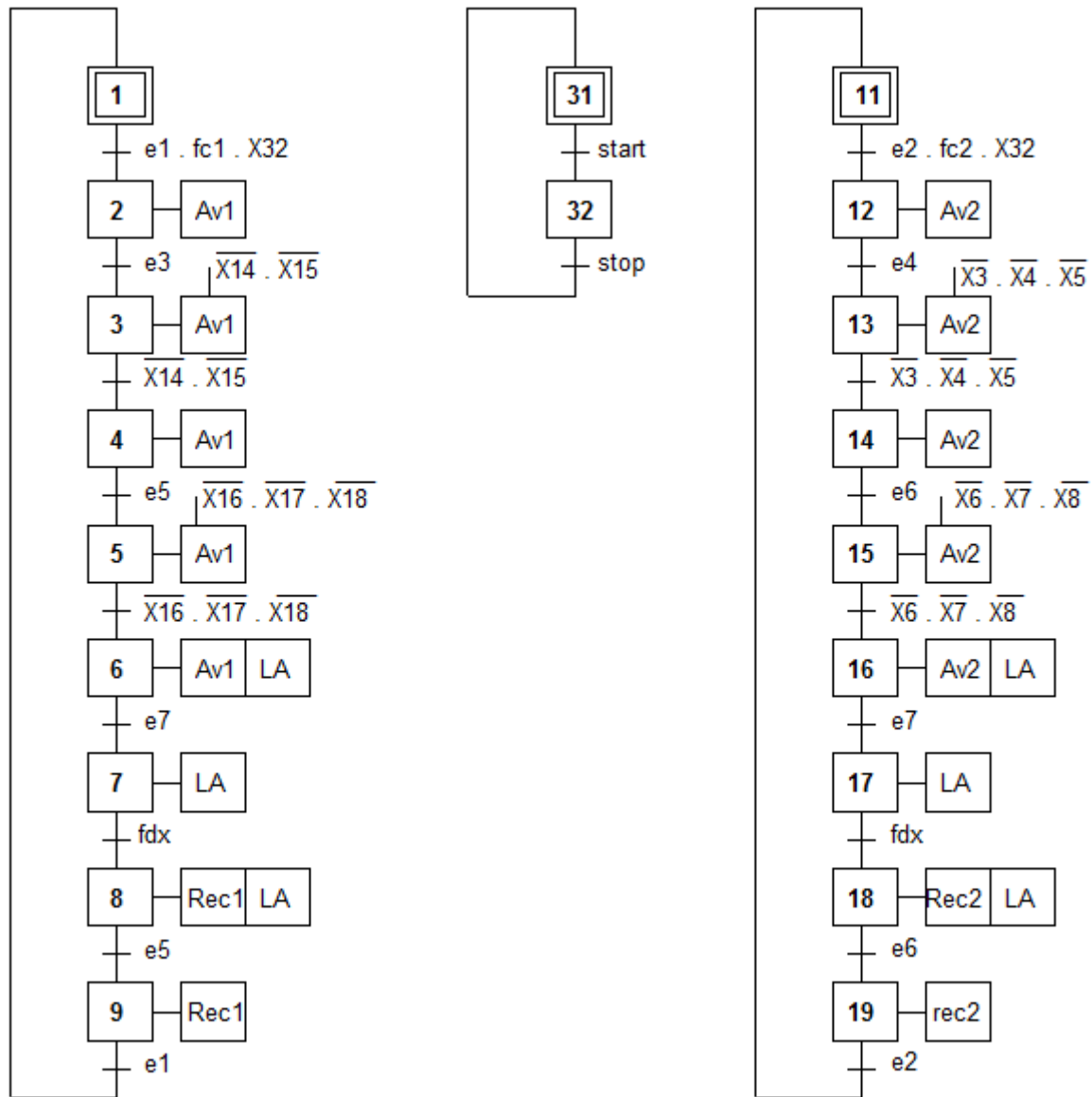


Figura 76- Representação do SFC referente ao caso de estudo 2

### 6.2.1.2. Conversão da linguagem formal SFC para a linguagem *ladder*

Em função do SFC elaborado para o problema proposto, converteu-se numa linguagem de programação.

As condições de transposição das transições do Grafcet da Figura 77, que (Xi representa a atividade da etapa i) são:

- $CT(i) := /X1 . /X2 . /X3 . /X4 . /X5 . /X6 . /X7 . /X8 . /X9$
- $CT(1) := X1 . e1 . fc1 . X32$
- ...
- $CT(19) := X18 . a6$
- $CT(20) := X19 . a2$

Em seguida, elabora-se a atividade das etapas:

- $X1 := CTi1 + CT9 + X1 . /CT(1)$
- ...
- $X9 := CT8 + X9 . /CT(9)$
- $X31 := CTi2 + CT11 + X31 . /CT(10)$
- $X32 := CT10 + X32 . /CT(11)$
- $X11 := CTi3 + CT20 + X11 . /CT(12)$
- $X12 := CT12 + X12 . /CT(13)$
- ...
- $X19 := CT19 + X19 . /CT(20)$

Para finalizar, elabora-se os pontos que cada etapa ativa/desativa:

- $av1 := AV1X2 + X3 . /X14 . /X15 + X4 + X5 . /X16 . /X17 . /X18 + X18$
- $rec1 := X18 + REC1$
- $LA := X12 + X13 . /X3 . /X4 . /X5 + X14 + X15 . /X6 . /X7 . /X8 + X16$
- $rec2 := X18 + X19$

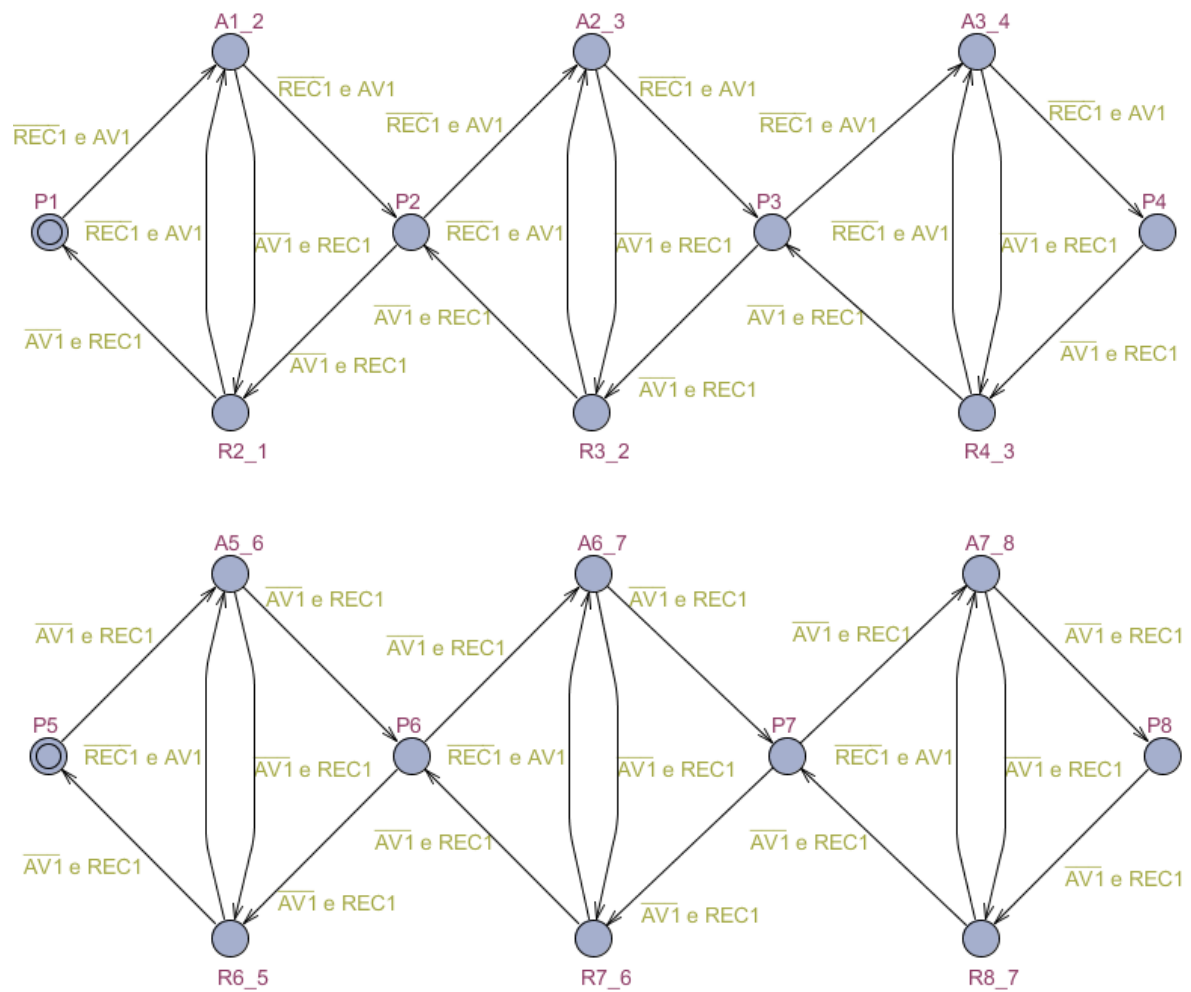
## 6.2.2. Modelação da parte operativa

### 6.2.2.1. Autómatos finitos temporizados

Numa primeira fase apresenta-se a modelação de cada elementos utilizando o formalismo autómatos finitos temporizados.

#### Modelação do percurso dos dois carros

Cada carro percorre um determinado percurso, podendo avançar ou recuar em função das ordens dadas. A modelação está representada na Figura 77.

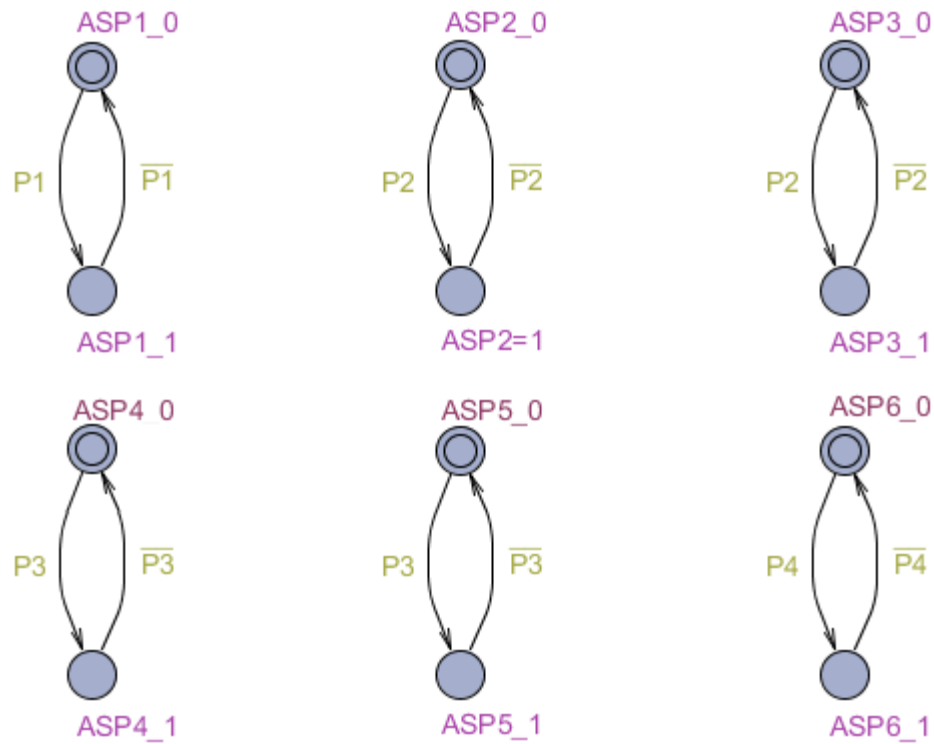


**Figura 77- Modelação do processo referente ao percurso dos 2 carros**

## Modelação dos sensores de proximidade

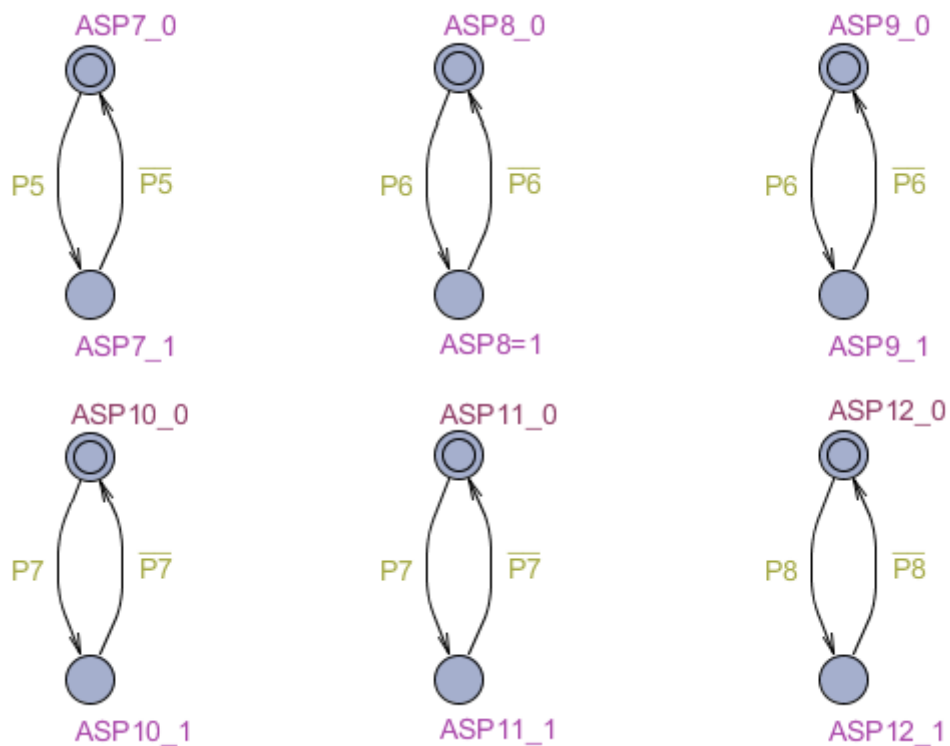
Os sensores informam qual a posição dos carros.

Na Figura 78, está representada a modelação dos sensores de proximidade referentes ao carro 1.



**Figura 78- Modelação do processo dos sensores de proximidade referente ao carro 1**

Na Figura 79, está representada a modelação dos sensores de proximidade referentes ao carro 2.



**Figura 79- Modelação do processo dos sensores de proximidade referente ao carro 2**

#### 6.2.2.2. Conversão em equações de comando

O formalismo autômatos finitos foi utilizado para modelar os componentes pertencentes à parte operativa dos sistemas automatizados. A sua conversão para a linguagem Ladder foi feita segundo [29].

### 6.2.3. Ambiente de simulação

Finalizada a modelação da parte operativa e de comando através equações de comando, estas terão que ser simuladas através de um software (CX-One).

### 6.2.3.1. Parte de Comando

A modelação da parte de comando do sistema automatizado será simulada com o auxílio do Cx-Programmer, ou seja, as equações de comando elaboradas na linguagem de programação *ladder* serão transpostas para o software Cx-Programmer.

A modelação está representada na Figura 80. A modelação representada na respetiva figura não está completa, apenas é referida uma parte da respetiva modelação por uma questão de espaço.



**Figura 80- Representação parcial da modelação da parte de comando da bancada pneumática / electropneumática utilizando o CX-Programmer**

A memória do PLC é simulada através desta modelação, mas para que o comando possa ser executado, necessitamos de processar as ordens. Para isso usa-se o Cx-Simulator (Figura 81).



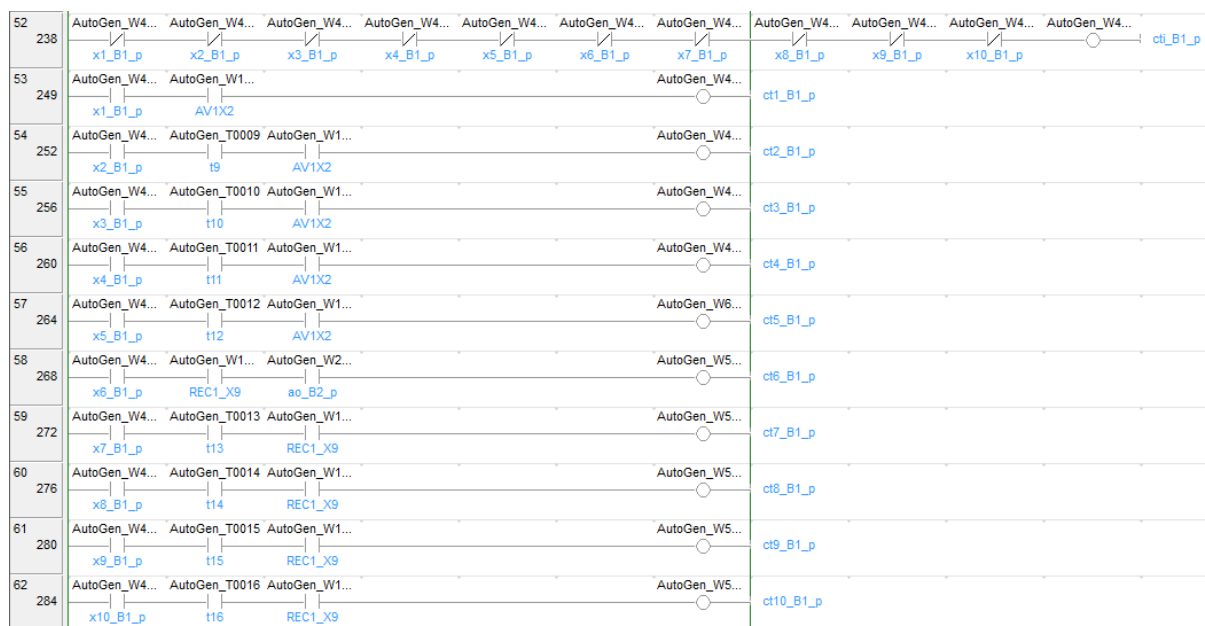
**Figura 81- Representação modelação da parte de comando da bancada pneumática / electropneumática utilizando o CX-Simulator**

### 6.2.3.2. Parte Operativa

A modelação da parte operativa do sistema automatizado temblem será simulada com o auxílio do Cx-Programmer, ou seja, as equações de comando elaboradas na linguagem de programação *ladder* serão transpostas para o software Cx-Programmer.

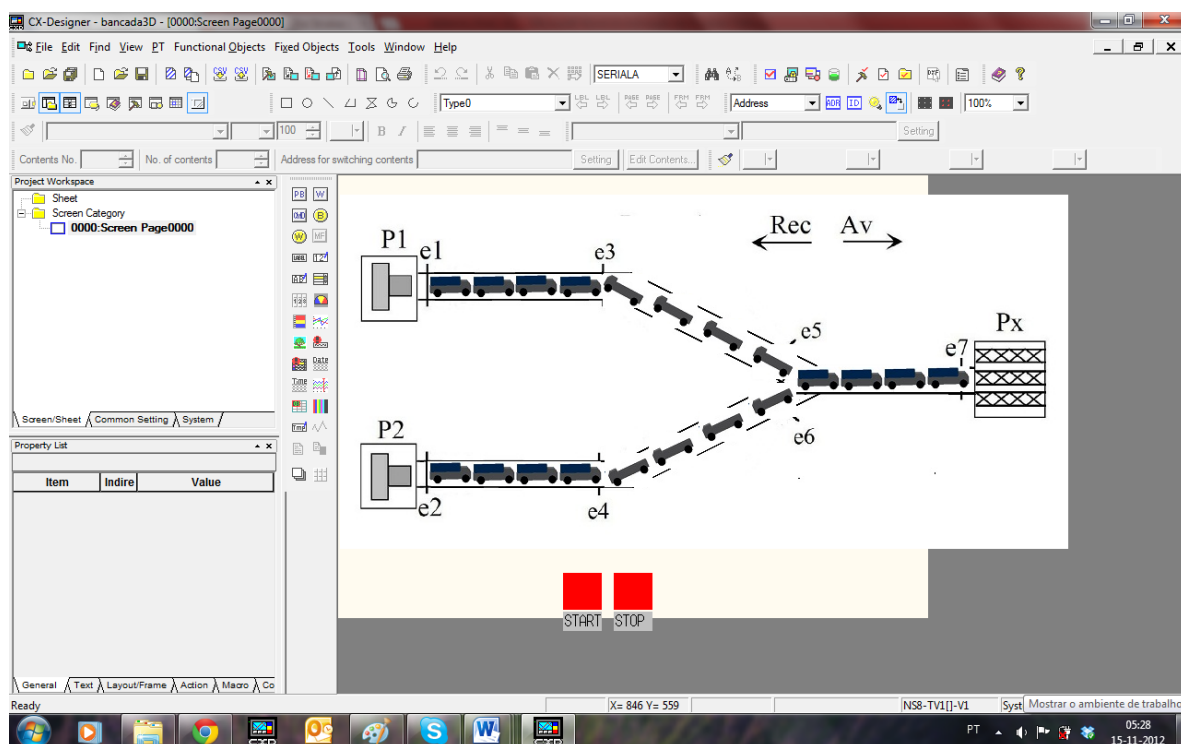
A modelação está representada na Figura 82. A modelação representada na respetiva figura não está completa, apenas é referida uma parte da respetiva modelação por uma questão de espaço.





**Figura 82- Representação parcial da modelação da parte operativa da bancada pneumática / electropneumática utilizando o CX-Programmer**

Para finalizar, a modelação do sistema automatizado deve ser simulada com o auxílio de um software de criação de dados, para que o desenvolvimento de sistema seja visível através de imagens. Utilizou-se o CX-Designer para o cumprimento dessa função (Figura 83).



**Figura 83- Representação da modelação da bancada pneumática / eletropneumática utilizando o CX-Designer**

#### **6.2.4. Adaptação das simulações ao ensino da automação**

O ensino da automação é elaborado através do controlo de sistemas automatizados. Logo, as simulações virtuais elaborados podem ser utilizadas para esse fim. O utilizador, terá que elaborar o comando do sistema, com base no problema e sistema específico e seguir as determinadas especificações. No anexo C são apresentados os passo necessários à adaptação das simulações ao ensino da automação.

A modelação da parte operativa está elaborada na linguagem *ladder*, no software Cx-Supervisor. Assim, a modelação do controlador terá que utilizar os mesmos endereços, dos utilizados na modelação da parte operativa, representados na Tabela 9.

**Tabela 9- Condições dos endereços utilizados na modelação da parte operativa**

<b>Descrição dos pontos</b>	<b>Endereço</b>
Avanço do carro (Av1)	W111.01
Recuo do carro (Rec1)	W111.00
Sensor de contacto 1 (e1)	W107.11
Sensor de contacto 2 (e2)	W109.10
Sensor de contacto 3 (e3)	W107.14
Sensor de contacto 4 (e4)	W109.13
Sensor de contacto 5 (e5)	W108.01
Sensor de contacto 6 (e6)	W110.00
Sensor de contacto 7 (e7)	W110.03
Operação de carregamento1 (fc1)	W107.12
Operação de carregamento2 (fc2)	W109.11
Operação de descarregamento (fdx)	W108.06
Início (start)	W108.11
Paragem (stop)	W108.13

### **6.3. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 6**

A simulação virtual de sistemas automatizados envolve a modelação individual dos elementos pertencentes a cada sistema.

A simulação foi explicada através de dois casos de estudo, que podem ser usados no ensino da automação.



# **CAPÍTULO 7**

## **CONCLUSÕES**



## 7. CONCLUSÕES

Esta dissertação teve por objetivo desenvolver ferramentas físicas e virtuais para o ensino da automação.

A plataforma WALC consiste num projeto desenvolvido para o mesmo fim (ensino da automação), onde podem ser simulados sistemas automatizados reais. Como o projeto ainda está em fase de desenvolvimento, projetou-se um kit didático real, para alargar a área de ensino da plataforma.

Também, um dos objetivos da dissertação era desenvolver simulações virtuais de sistemas automatizados. Essas simulações podem substituir os sistemas físicos (plataforma WALC) em diversas funções, destacando-se o ensino da automação. As simulações utilizam o princípio das simulações *Software-In-the-Loop*, ou seja, a parte de comando e operativa do sistema automatizado são simultaneamente modeladas, necessitando apenas de um computador e do software CX-One.

A utilização do CX-One foi pré-definida, porque o fabricante do software (Omron) foi um dos financiadores da plataforma WALC, assim, por uma questão de bom senso, utilizou-se esse software. Por sua vez, a linguagem de programação Ladder é inerente ao software, logo, a utilização desta linguagem também é pré-definida.

A simulação dos sistemas automatizados consiste na modelação dos vários elementos pertencentes aos respetivos sistemas (sensores e atuadores), que constituem uma base de dados utilizada para a simulação dos sistemas automatizados.

Nos casos de estudo, são simulados dois sistemas automatizados, onde estão definidos os seus constituintes. Nessa simulação, a parte de comando é modelada em função de um determinado problema, só a título exemplificativo. Já a parte de operativa, é modelada em função dos elementos o sistema possui, podendo esta interagir com diferentes modelações do comando, equiparando-se a um sistema automatizado real.

As simulações propostas nesta dissertação podem, também, ser uma ferramenta complementar às aulas das disciplinas de pneumática, hidráulica, eletropneumática, eletro-hidráulica, controlo de sistemas automatizados, em cursos superiores, ou não, técnicos e tecnológicos, podendo ser utilizado por alunos e professores, dentro e fora da sala de aula, de

forma presencial. Assim, o utilizador, aluno ou professor, dispõe de uma ferramenta na qual são simulados sistemas automatizados por eles concebidos.

Como vantagem pedagógica, pode ser citada a possibilidade do utilizador elaborar teoricamente um determinado sistema, e através do simulador, testar o seu controlo. Dotado dessa possibilidade, o aluno é encorajado a criar, ter iniciativa e autonomia, que o torna um aprendiz ativo e participante.

É de referir que o objetivo proposto para esta dissertação foi alcançado com sucesso.

Em trabalhos futuros, poder-se-á utilizar a metodologia desenvolvida nesta dissertação, para ampliar a base de dados, para que seja possível modelar a parte física do maior número de sistemas automatizados possível.



## REFERÊNCIAS

- [1] PIRES, J, “Automação Industrial”, da “ETEP”, 2º Revisão, 2004
- [2] FERREIRA, J, “Virtualização de autómatos programáveis”, Tese de Mestrado em Engenharia. Electrónica, Universidade de Aveiro, 1994
- [3] CARVALHO, N., “WALC-AI: Laboratório para Aprendizagem do Controlo e Automação Industrial”, Tese de Mestrado em Electrónica Industrial e Computadores, Universidade do Minho, 2010
- [4] COSTA, J., “Acesso remoto e controlo de processos de uma rede de autómatos”, Tese de Mestrado em Electrónica Industrial e Computadores, Universidade do Minho, 2009
- [5] CARVALHO, N., SILVEIRAL, R., LEÃO, C., MACHADO, J., SOARES, F., “Platform WALC: design and development of a PLC network”, na Universidade do Minho, 2011
- [6] Página da internet: Omron(2004). Consultado em 24/04/2012, disponível em [http:// omron.pt](http://omron.pt)
- [7] Machado, J., “Concepção e realização do Comando Operacional de Sistemas Industriais de Eventos Discretos” em “Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica”, Universidade do Minho, 2001
- [8] LEÃO, C., SOARES, F., MACHADO, J., SEABRA, E., RODRIGUES, H., “Design and Development of an Industria Laboratory”, na “International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)”, 2011
- [9] Considine, D., “Standard Handbook of Industrial Automation”, em “Chapman and Hall”, UK, 1986.
- [10] Lee, K., “Sensor Networking and Interface Standardization”, na “IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference”, Budapest, Hungary, 2001, May 21-23, 6 pp.
- [11] Felser, M., “Real-time Ethernet - industry prospective, Proceedings of the IEEE”, 93 (6), June 2005, pp. 1118 – 1129. doi:10.1109/JPROC.2005.849720
- [12] Kizza, K., “Security Threats to Computer Networks, Computer Communications and Networks”, Part II, Springer, USA, 2005.
- [13] SCHAF, F., “Arquitetura para ambiente de ensino de controle e automação utilizando experimentos remotos de realidade mista”, 2006
- [14] SILVA, H., “Simulação com Hardware In the Loop Aplicada a Veículos Submarinos Semi-Autônomos ”, São Paulo, Brasil, 2008

- [15] Banks J., “Introduction to simulation”, Proceedings of the Winter Simulation Conference, Atlanta, 2000
- [16] Barton, P. I., “The Modelling and Simulation of Combined Discrete/Continuous Processes”, Tese Doutorado, Universidade de Londres, 1992.
- [17] Filho P. J., “Introdução à modelação e simulação de sistemas com aplicações em Arena”, Florianópolis: Visual Books, 2001
- [18] Law A.M., Kelton W. D., “Simulations modeling and analysis”, 2ª ed. Boston: McGraw- Hill, 1991
- [19] Ogata, K., “Engenharia de Controle Moderno”, 2ª edn, Prentice-Hall do Brasil, 1993
- [20] Peterson J.L., “Petri Net Theory and the Modeling of Systems”, Prentice Hall, Inc., 190 págs., junho de 1981 (ISBN: 0136619835).
- [21] Seabra E., Machado J., Soares F., Leão C., Silva J., “Simulation and formal verification of real-time systems”: A case study Accepted for oral presentation at ICINCO’2007 – 4th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics. 9-12 Maio, Angers, França, 2007
- [22] Página da internet: FluidSIM (2004). Software de simulação FluidSIM. Consultado em 22/05/2012, disponível em [http://www.fluidsim.de/fluidsim/index4\\_e.htm](http://www.fluidsim.de/fluidsim/index4_e.htm)
- [23] Página da internet: SIM (2004). Software de simulação SIM. Consultado em 22/04/2012, disponível em <http://www.festo-didactic.com/int-en/services/software/software-licences/robotino-sim-demo.htm?fbid=aW50LmV uLjU1Ny4xNy4zMj44MjUuNjksNg>
- [24] Página da internet: COSIMIR (2004). Software de simulação COSIMIR. Consultado em 22/06/2012, disponível em <http://www.festo-didactic.com/br-pt/sistemas-de-ensino/softwares/ciros-automation-suite/cosimir-turns-into-ciros-save-on-updates-now.htm?fbid=YnIucHQNTM3LjIzLjE4LjEwMTEuNjY5MQ>
- [25] Página da internet: Festo (2009). Consultado em 24/03/2012, disponível em <http://www.festo.pt>
- [26] Página da internet: Festo (2006). Painel simulador de Pneumática Industrial e Eletropneumática. Consultado em 24/05/2012, disponível em <http://www.festo.com/net/startpage/>
- [27] Página da internet: Festo (2011). Painel simulador de hidráulica Industrial e Eletrohidráulica. Consultado em 30/05/2012, disponível em <http://www.festo.com/net/startpage/>
- [28] Página da internet: Festo didactic (2009). Stacking magazine station. Consultado em 20/02/2012, disponível em <http://www.festo-didactic.com/br-pt/sistemas-de-ensino/technology-for-secondary-schools/complete-package/stacking-magazine-station.htm?fbid=YnIucHQNTM3LjIzLjE4LjExMTkuNTQwOQ>

[29] Página da internet: Festo didactic (2009). Conveyor Station. Consultado em 25/02/2012, disponível em <http://www.festo-didactic.com/br-pt/sistemas-de-ensino/technology-for-secondary-schools/complete-package/conveyor-station.htm?fbid=YnIucHQUNTM3LjIzLjE4LjExMTkuNTQxMA>

[30] Página da internet: Festo didactic (2009). Handling Station. Consultado em 29/02/2012, disponível em <http://www.festo-didactic.com/br-pt/sistemas-de-ensino/technology-for-secondary-schools/complete-package/handling-station.htm?fbid=YnIucHQUNTM3LjIzLjE4LjExMTkuNTQxMQ>

[31] Página da internet: CIP (2004). Catalogo da CIF, Consultado em 29/04/2012, disponível em <http://www.cif.ft>

[32] Página da internet: Festo (2011). Catalogo da Festo. Consultado em 24/04/2012, disponível em <http://www.festo.com>

[33] Página da internet: Importinox (2011). Catalogo da Importinox. Consultado em 24/05/2012, disponível em <http://www.importinox.com>

[33] Página da internet: Omron (2011). Software Cx-One, Consultado em 24/07/2012, disponível em [http://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation\\_systems/software/configuration/cx-one/default.html](http://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation_systems/software/configuration/cx-one/default.html)

[34] Página da internet: Omron (2011). Software Cx-Programmer, Consultado em 24/07/2012, disponível em [http://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation\\_systems/software/programming/cx-one/cx-programmer.html](http://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation_systems/software/programming/cx-one/cx-programmer.html)

[35] Página da internet: Omron (2011). Software Cx-Simulator, Consultado em 24/07/2012, disponível em [http://www.omron-ap.com/product\\_info/CX-Simulator/index.asp](http://www.omron-ap.com/product_info/CX-Simulator/index.asp)

[36] Página da internet: Omron (2011). Software Cx-Designer, Consultado em 24/07/2012, disponível em [http://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation\\_systems/software/programming/cx-one/cx-designer.html](http://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation_systems/software/programming/cx-one/cx-designer.html)

[37] Alur R., Dill D. L., “Automata for Modelling Real-Time Systems”, Theoretical Computer Science, 126(2) : 183-236, 1994

[38] BORGES, P., “Software Seguro para Sistemas Mecatrônicos Temporizados”, Dissertação do Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, 2010

[39] IEC 60848 (2002). “GRAFCET Specification Language for Sequential Function Charts” Language De Specification GRAFCET Pour Diagrammes Fonctionnels En Sequence, International Electrotechnical Commission.

[40] BÉRARD, B., “Systems and Software Verification”, Springer, 1999

[41] LAWSON, M., “Finite Automata. Control Engineering”, no “Handbook of Networked and Embedded Control Systems”, 2005

[42] – GOMES, V., “Controladores Lógicos Programáveis”, Universidade Federal de Campina Grande Centro de Engenharia Elétrica e Informática Unidade, Acadêmica de Engenharia Elétrica Sistemas de Automação Industrial, 2005

[43] Página da internet: Omron (2011). Software Cx-Supervisor, Consultado em 29/07/2012, disponível em [http:// industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation\\_systems/software/runtime/cx-supervisor/default.html](http://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation_systems/software/runtime/cx-supervisor/default.html), 2005

## **ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS COMPONENTES DO PAINEL PNEUMÁTICO/ ELECTROPNEUMÁTICO**



## **A1. COMPRESSOR DE 230 V/50 Hz, 135 W**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referência: #F41 045

Marca: CIF

Fonte de alimentação: 220 V AC, 50/60 Hz

Potência: 135 W

Produção: 25 litros/minuto

Pressão Máxima: 6 bar

Nível de ruído: 30 dB

Massa: 12 Kg

Dimensões: 21 x 46 x 53 cm

Conexão pneumática de um tubo com diâmetro exterior igual a 4 mm (tubo flexível de plástico PAN da Festo)

Preço: 579,30 €

## **A2. TUBO FLEXÍVEL DE PLÁSTICO PAN**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referência: #553610

Diâmetro externo: 4 mm

Diâmetro interno: 2,5 mm

Pressão de trabalho: -0,95 ... 42 bar

Temperatura ambiente: -60 ... 100 °C

Material: Poliamida 12 e TPE-A

## **A3. VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO - FILTRO**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referência: #526275

Posição de instalação: vertical +/- 5°

Grau de filtração: 5  $\mu$  m

Drenagem: manualmente

Princípio construtivo: filtro regulador sem manômetro

Volume máximo do condensado: 3 cm<sup>3</sup>

Indicador de pressão: M5 preparado

Pressão de trabalho: 1 ... 10 bar

Faixa de regulação de pressão: 0,5 ... 7 bar

Caudal nominal padrão: 110 l/min

Temperatura do meio: -10 ... 60 °C

Massa do produto: 64 g

Conexão pneumática 1 M5

Conexão pneumática 2 M5

Informação sobre material, corpo Liga de alumínio

Informação sobre material, copo PC

Tipo de fixação: 1 parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933  
RT ZnB M4x20

Tipo de conexão: 2 conexões rápidas de retenção QSK-M5-4 da Festo com o respetivo  
de tubo flexível de plástico PAN também da Festo

Preço: 41.74€

#### **A4. DISTRIBUIDOR MÚLTIPLO**

##### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referência: #186233

Diâmetro nominal: 2,4 mm

Pressão de trabalho: -0,95 ... 14 bar

Temperatura ambiente: -10 ... 80 °C

Binário máximo: 10 Nm

Massa do produto: 32 g

Número de saídas: 3



Número de conexões de alimentação: 1

Conexão pneumática, alimentação Rosca externa: G1/8

Conexão pneumática, saída para tubo flexível com diâmetro externo de: 4 mm

Material: segmento de fixação da mangueira de Aço alta liga, inoxidável

Conexão: Bucha para tubo flexível C-1/8-P-6 e tubo flexível de plástico PAN ambos da Festo

Preço: 16.49€

## **A5. BUCHA**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referência: #

Diâmetro nominal: ,4 mm

Conexão pneumática PK-6

Preço: 5.29 €

## **A6. VÁLVULA DIRECIONAL SONELOIDE MHE2-MS1H-3/2G-QS-4-K da**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referência: #196137

Marca: Festo

Função de válvula: 3/2 vias, fechada, monoestável

Tipo de acionamento: elétrico

Largura: 10 mm

Caudal nominal padrão: 100 l/min

Pressão de trabalho: -0,9 ... 8 bar

Tipo de reposição: mola mecânica

Diâmetro nominal: 2 mm

Função de ar de escape: regulável

Posição de instalação: Nos dois lados

Máx. Frequência de comutação: 330 Hz

Dados característicos da bobina: 24 V c.c.: Fase de corrente baixa: 1,25 W, fase de corrente alta: 5 W

Temperatura do meio: -5 ... 60 °C

Massa do produto: 60 g

Conexão elétrica: Cabo

Comprimento do cabo: 2,5 m

Preço: 88.04€

Tipo de suporte: 9 Parafusos Cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M4x20 da importinox

Conexão: Tubo flexível de plástico PAN da Festo

## **A7. PARADUSOS DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: #0933121004020

Marca: Importinox

Diâmetro nominal: 4 mm

Comprimento: 20mm

Material: aço de Classe 8.8 com acabamentos em zincado branco

## **A8. CILINDRO PNEUMÁTICO DE SIMPLES EFEITO NORMALIZADO**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: #5088

Marca: Festo

Curso: 50 mm

Diâmetro do êmbolo: 8mm

Rosca da haste: M4

Pressão de trabalho: 1,5 ... 10 bar

Modo de operação: de simples ação no avanço

Temperatura ambiente: -20 ... 80 °C

Energia de impacto nas posições finais: 0,03 J

Força teórica a 6 bar, avanço: 24N

Conexão pneumática: M5

Informação sobre material, haste: Aço alta liga, inoxidável

Informação sobre material, camisa do cilindro: Aço alta liga, inoxidável

Preço: 43.92€

Fixação: fixador por pés -HBN-8/10x2 #5123 da Festo juntamente com parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT M5x12 da importinox

Conexão: conexão rápida de retenção QSK-M5-4 #153291 da Festo Tubo flexível de plástico PAN também da Festo

## **A9.       FIXADOR POR PÉS**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: #5124

Marca: Festo

Dimensões: 8/10

Peso do produto: 55 g

Informação sobre material: Aço galvanizado

Preço: 4.41€

## **A10. PARADUSOS DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: #0933121005015

Marca: Importinox

Diâmetro nominal: 5 mm

Comprimento: 12mm

Material: aço de Classe 8.8 com acabamentos em zincado branco

## **A11. CONEXÃO RÁPIDA DE RETENÇÃO QSK-M5-4**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: #153291

Marca: Festo

Diâmetro nominal: 1,4 mm

Posição de instalação Nos dois lados

Pressão de trabalho: -0,95 ... 14 bar

Temperatura ambiente: -10 ... 80 °C

Binário máximo: 1,5 Nm

Massa do produto: 7,1 g

Conexão pneumática Rosca externa: M5 para tubo flexível com diâmetro externo de 4 mm

Informação sobre material, corpo: Latão niquelado

Informação sobre material, anel de desengate: POM

Informação sobre material, vedação do tubo flexível: NBR

Informação sobre material, segmento de fixação da mangueira: Aço alta liga, inoxidável

Preço: 11.01€

## **A12.      SENSORES FIM DE CURSO SS-01GL**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: SS-01GL

Marca: Festo

Dimensões: 19.8 x 6.4 x 10.2 mm

Força de ativação: 1.47 N ( 150 gf)

Material do contacto: Liga de ouro

Dados característicos do sensor: 0.5 A a 30 VDC

Tempo vida: 30,000,000 operações mecânicas ou 200,000 Operações elétricas

Temperatura de trabalho: -25°C a 80°C

Preço: 2,21 €

Fixação: Parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB  
M4x30 da importinox

## **A13.      PARADUSOS DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: #0933121004030

Marca: Importinox

Diâmetro nominal: 4 mm

Comprimento: 30 m

Material: aço de Classe 8.8 com acabamentos em zincado branco

## **A14.      TACTILE SWITCHES B3FS-4002P**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: B3FS-4002P

Marca: Omron

Dimensões: 12x12x4,3 mm

Força de operação: 150 gf

Tempo de vida: 3000000 de ciclos

Temperatura de operação: -25°C a 70°C

Preço: 1,13 €

#### **A15. CONTROLADOR CPM1A-20CDR-A-V1**

##### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: CPM1A-20CDR-A-V1

Marca: Omron

Temperatura de operação máxima admissível: 55°C

Temperatura de operação mínima admissível: 0°C Potência: 30 VA

Fonte de alimentação AC Máxima: 264VAC

Fonte de alimentação AC mínima: 85VAC

Fonte de alimentação máxima: 24VDC

Preço: 860,92 €

Fixação: parafusos de cabeça sextavada com rosca total PFS SXT 8.8 DIN 933 RT ZnB M4x20

Conexão: cabo de conexão CQM1-C1F02 e de conversão USB CS1W-C1F31 da Omron

#### **A16. PARADUSOS DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL**

##### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: 0933121004020

Marca: Importinox

Diâmetro nominal: 4 mm

Comprimento: 20mm

Material: aço de Classe 8.8 com acabamentos em zincado branco

**A17. FONTE DE ALIMENTAÇÃO DE 24V 24V S8JX-G05012CD**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referência: S8JX-G05012CD

Marca: Omron

Tensão de entrada: 100 to 240VAC

Potência: 100 W

Dimensões: 97 X 50 X 174.5 mm

Tensão de saída: 24 V

Corrente de saída: 4.5 A

Fixação:

**A18. PARADUSOS DE CABEÇA SEXTAVADA COM ROSCA TOTAL**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

Referencia: #0933121004012

Marca: Importinox

Diâmetro nominal: 4 mm

Comprimento: 12mm

Material: aço de Classe 8.8 com acabamentos em zincado branco





**ANEXO B – EQUAÇÕES DE COMANDO REFERENTES À  
MODELAÇÃO DA PARTE DE COMANDO DO CASO DE  
ESTUDO 1: BANCADA  
PNEUMÁTICA/ELETROPNEUMÁTICA**



## **B1. RESUMO DO MANUAL DE UTILIZADOR REFERENTE À SIMULAÇÃO VIRTUAL DA BANCADA PNEUMÁTICA /ELETROPNEUMÁTICA**

### **1ºPasso**

Elaboração da sequência através do formalismo SFC (IEC 60848)

### **2ºPasso**

Elaboração da sequência através da linguagem de programação *ladder*.

### **3ºPasso**

Abrir o ficheiro ‘Bancada 2P’. O ficheiro está incorporado no CD-ROM, em anexo.

### **4ºPasso**

Colocar a sequência do programa (linguagem de programação *ladder*) no ficheiro “Bancada 2P”, nos espaços em branco, localizados no início do ficheiro.

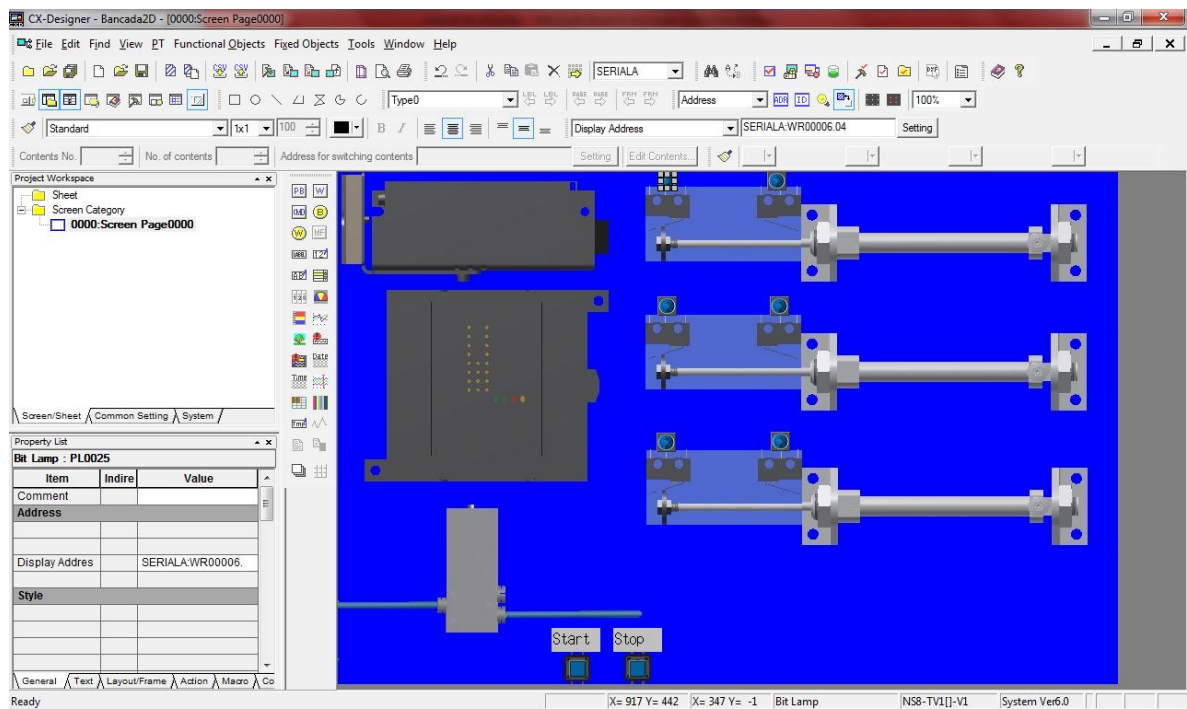
Pelo facto das simulações da parte de comando e operativa estarem simultaneamente em contacto, estas necessitam de possuir o mesmo endereço dos pontos com a mesma função.

Assim, o programa colocado no ficheiro terá que respeitar estas condições de endereço, representadas na seguinte Figura.

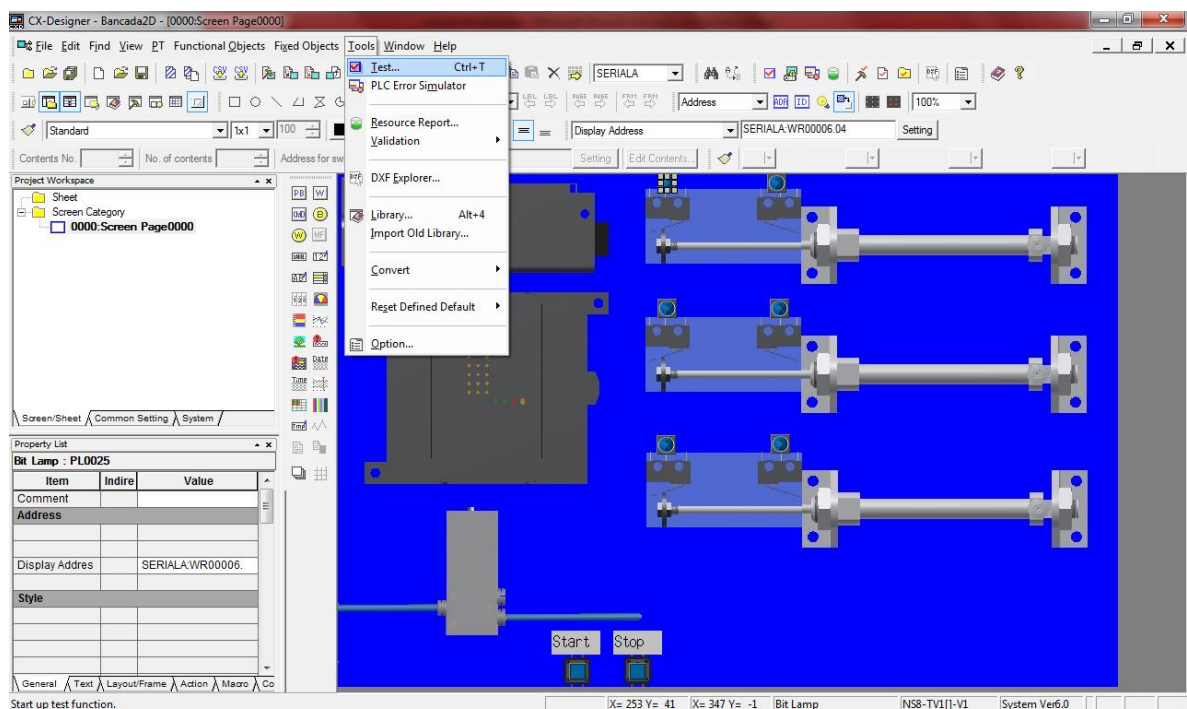
<b>Descrição dos pontos</b>	<b>Endereço</b>
Sensor início de curso do cilindro 2 (a0_B2): W26.00	W26.00
Sensor início de curso do cilindro 1 (a0_B1)	W6.00
Sensor início de curso do cilindro 3 (a0_B3)	W36.00
Sensor fim de curso do cilindro 1 (a1_B1):	W6.04
Sensor fim de curso do cilindro 2 (a1_B2)	W26.04
Sensor fim de curso do cilindro 3 (a1_B3)	W36.04
Botão de acionamento (Start):	W101.00
Botão de paragem (Stop)	W101.01
Válvula solenoide (para que o cilindro seja ativado) A1	W5.00
Válvula solenoide (para que o cilindro seja ativado) A2	W25.00
Válvula solenoide (para que o cilindro seja ativado) A3	W35.00
Válvula solenoide (para que o cilindro seja desativado) B1	W5.01
Válvula solenoide (para que o cilindro seja desativado) B2	W25.01
Válvula solenoide (para que o cilindro seja desativado) B3	W35.01

### **5ºPasso**

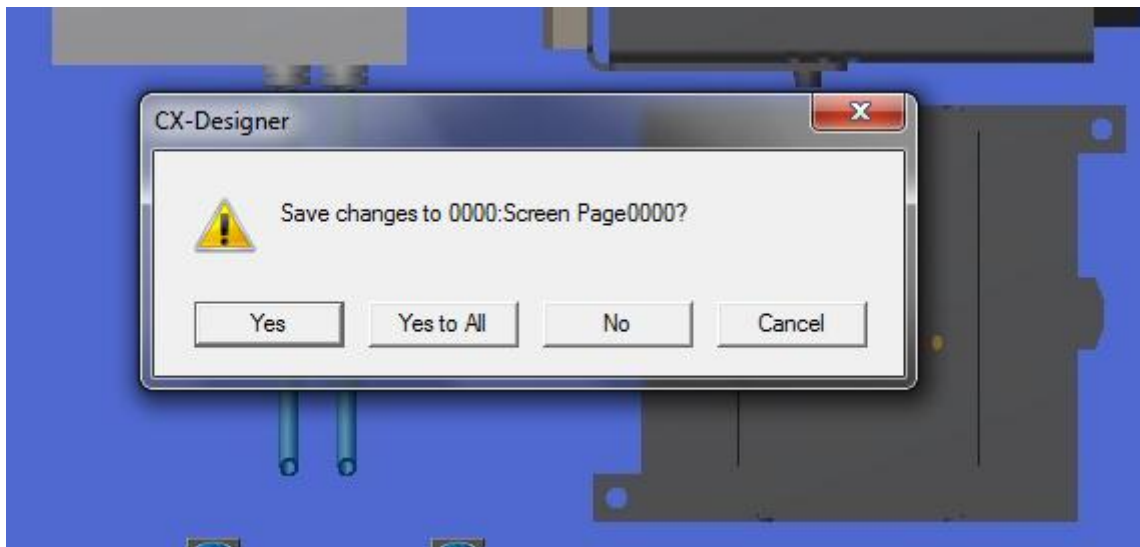
Por fim, para verificar se a sequência está a funcionar corretamente, abrimos o ficheiro “Bancada 2D”, no Cx-Designer.



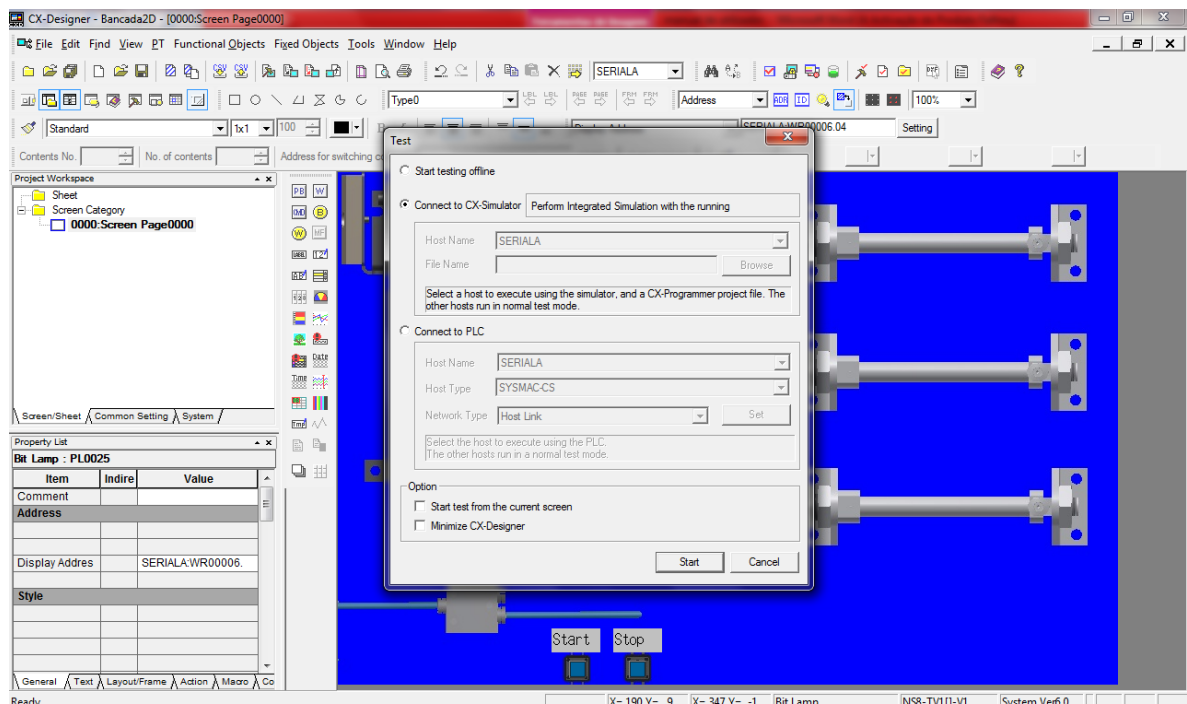
Em seguida testamos o programa, através de “Tools” e “Test”.



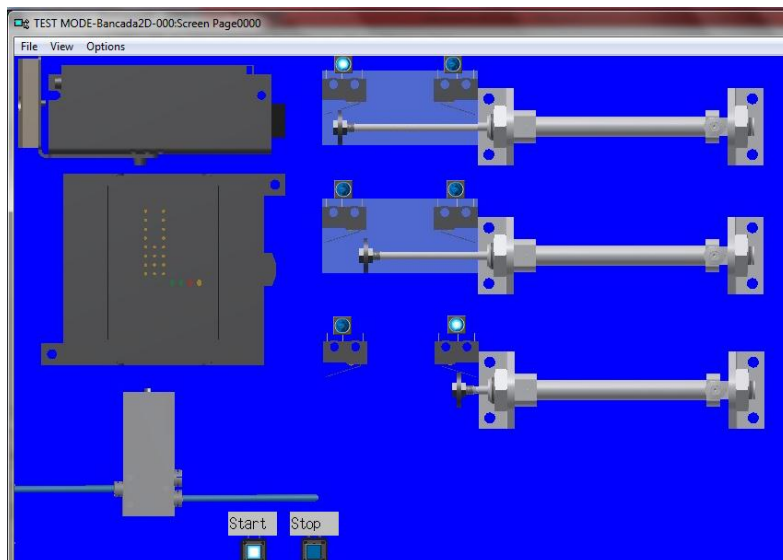
Em seguida, clicamos na opção “No”, para não alterar a estrutura de simulação.



Por fim clicamos em ‘start’ e o ficheiro de teste abre.



Com o ficheiro de teste aberto, este pode ser iniciado através da ativação dos botões (start) e desativado (Stop).



Assim, o sistema pode ser utilizado como uma ferramenta de aprendizagem de automação. Sendo necessário, apenas apresentar um determinado sequência, que o sistema terá que cumprir. A sequência será elaborada em SFC, posteriormente em *ladder*, e poderá ser testada. Se a sua resolução estiver correta, o sistema representara a sequência desejada.





## **ANEXO C – RESUMO DO MANUAL DE UTILIZADOR REFERENTE À SIMULAÇÃO VIRTUAL DO SISTEMA DE CARGA/DESCARGA**



## C1. RESUMO DO MANUAL DE UTILIZADOR REFERENTE À SIMULAÇÃO VIRTUAL DO SISTEMA DE CARGA/DESCARGA

### 1ºPasso

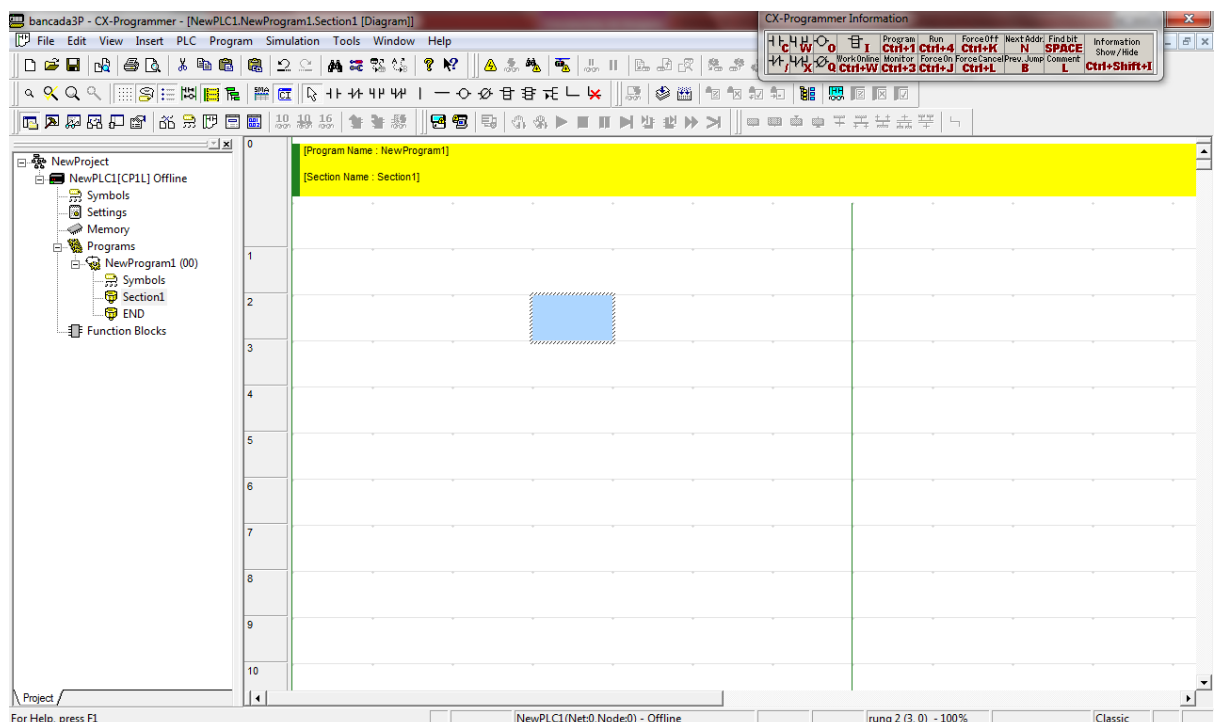
Elaboração da sequência através da linguagem *grafcet*.

### 2ºPasso

Elaboração da sequência através da linguagem *ladder*.

### 3ºPasso

Abrir o ficheiro ‘Bancada3P’



### 4ºPasso

Colocar o programa (linguagem *ladder*) no ficheiro.

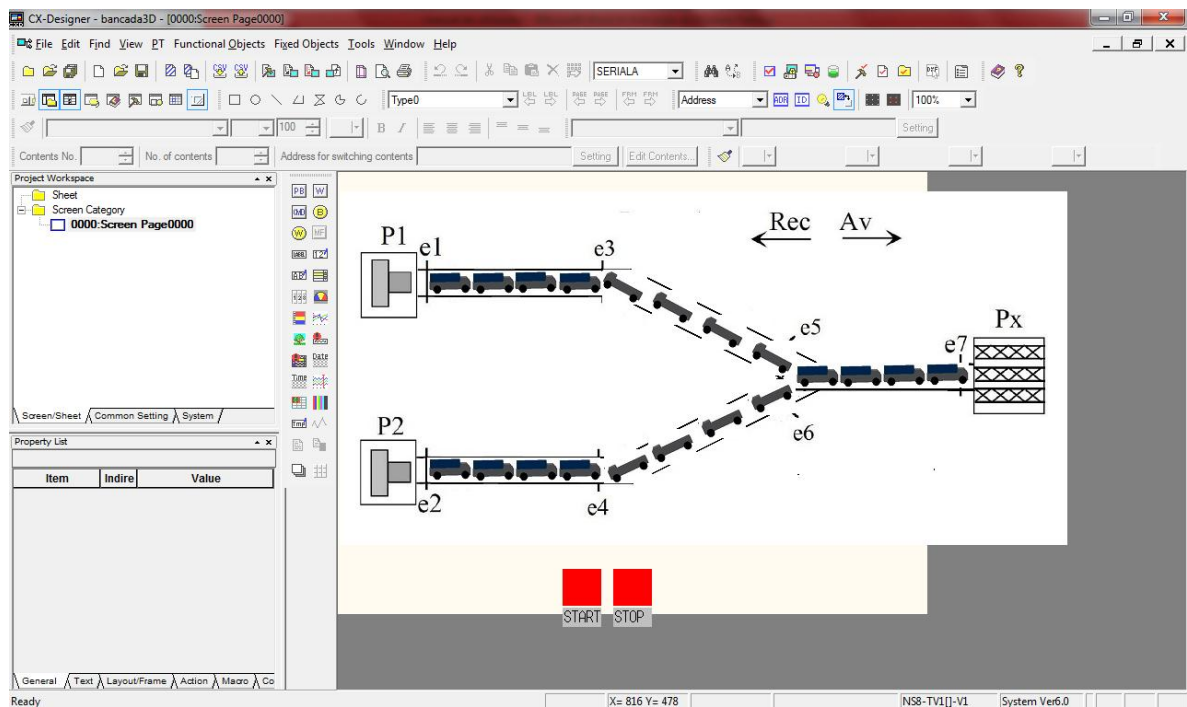
Pelo facto das simulações da parte de comando e operativa estarem simultaneamente em contacto, estas necessitam de possuir o mesmo endereço dos pontos com a mesma função.

Assim, o programa colocado no ficheiro terá que respeitar estas condições de endereço.

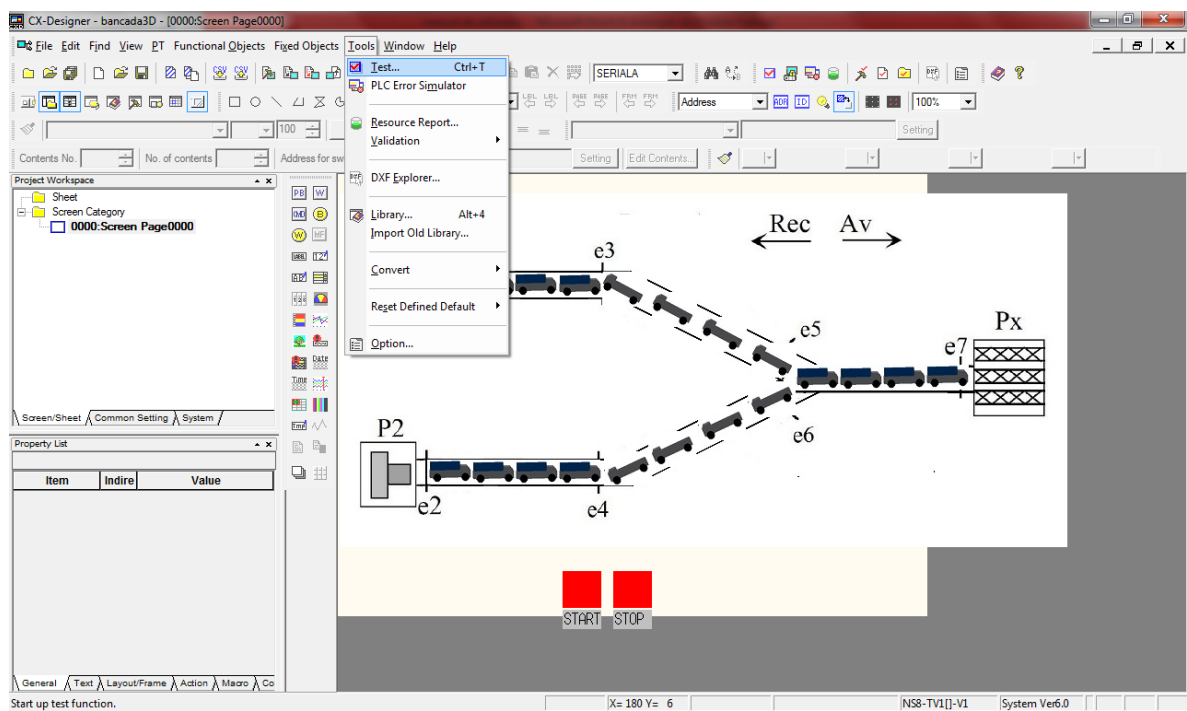
<b>Descrição dos pontos</b>	<b>Endereço</b>
Avanço do carro (Av1)	W111.01
Recuo do carro (Rec1)	W111.00
Sensor de contacto 1 (e1)	W107.11
Sensor de contacto 2 (e2)	W109.10
Sensor de contacto 3 (e3)	W107.14
Sensor de contacto 4 (e4)	W109.13
Sensor de contacto 5 (e5)	W108.01
Sensor de contacto 6 (e6)	W110.00
Sensor de contacto 7 (e7)	W110.03
Operação de carregamento1 (fc1)	W107.12
Operação de carregamento2 (fc2)	W109.11
Operação de descarregamento (fdx)	W108.06
Início (start)	W108.11
Paragem (stop)	W108.13

### **5ºPasso**

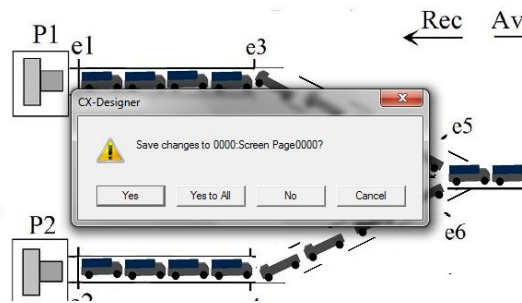
Por fim, para verificar se a sequência está a funcionar corretamente, abrimos o ficheiro ‘Bancada 3D’, no Cx-Designer.



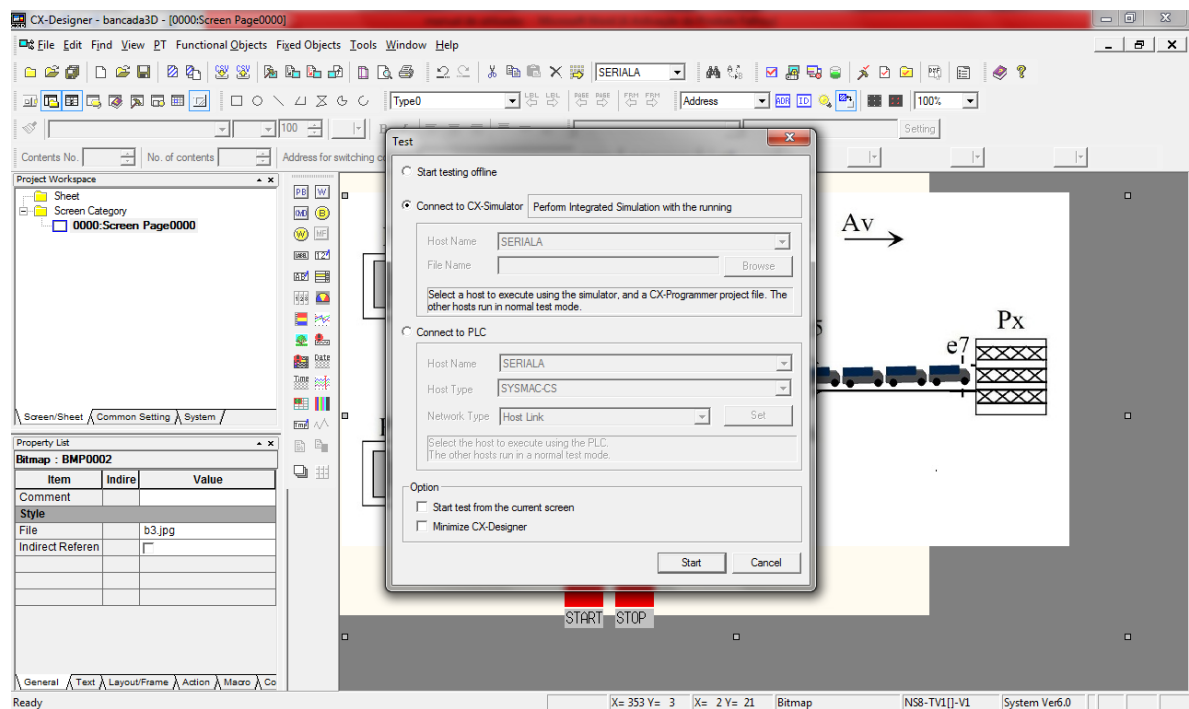
Em seguida testamos o programa, através de “Tools” e “Test”.



Em seguida, clicamos na opção “No”, para não alterar a estrutura de simulação.



Por fim clicamos em “start” e o ficheiro de teste abre.



Com o ficheiro de teste aberto, este pode ser iniciado através da ativação dos botões (start) e desativado (Stop).

